Curso a distancia para “La generación y el uso eficiente del vapor”
año 2007

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

REPASO RÁPIDO:

SUGERENCIAS PARA AHORRAR COMBUSTIBLE EN LAS PLANTAS QUE GENERAN VAPOR: PUNTOS A TENER EN CUENTA

1-Baje la presión (del vapor) **de trabajo en la caldera** lo más bajo posible que le permita ser utilizado el vapor en el proceso (o la temperatura del agua si la caldera es de agua caliente).

2-Utilice el quemador (aún con leña) lo más moduladamente posible: en F.Oíl utilice quemadores modulantes o con llamas alternativas, regulando la llama más baja de manera que ésta no se apague en lo posible y que las llamas más altas no sobrepasen el consumo más elevado de vapor (que la repuesta sea suave). En leña, cargar la misma en períodos cortos, regular el aire evitando que la caldera corte por alta presión de manera que la combustión se ajuste a la producción de vapor.

3-Ponga un termómetro en la chimenea y trate de mantener la temperatura lo más baja posible, limpiando periódicamente las superficies de transferencias, especialmente el hollín (ó cenizas) del lado de los gases calientes. Del lado del agua: haga un buen tratamiento químico, limpie los barros periódicamente y mantenga libre de incrustaciones las superficies de transferencia haciendo una limpieza química y/o mecánica. Esta temperatura estará influenciada por el % de combustión, el exceso de aire y la presión de trabajo.

4-Mantenga el exceso de aire para la combustión al mínimo necesario (para evitar que se caliente aire que no entra en la combustión), pero logrando la combustión completa. En F.Oíl mantenga en la chimenea un leve humo color carmelita (caramelo), la llama anaranjada con las puntas levemente más oscuras completando la combustión antes de alcanzar los tubos (el CO2 entre 13% y 15%). En leña los humos no dicen las condiciones de combustión y la observación de la llama es factible en la combustión directa solamente: que la misma llegue hasta la mitad del tubo del hogar, llenando siempre la boca del hogar con llama (en humo tubulares). En el gasógeno y en gases, la observación de llama no es una guía segura, es preferible medir los gases. (en leña el CO2 aconsejable es entre 14% a 16%, O2 entre 3,5% y 5,5%, ya que un CO2 más alto generalmente va acompañado por la presencia de gases no quemados, verificando que se encuentra del lado de exceso de aire comprobando la no presencia de CO, monóxido de carbono). O midiendo el %CO2 y %O2 (oxígeno) y utilizando un triángulo de OSTWALD. En gas natural, la observación de la llama es dificultosa, trate de medir el CO2%(en el entorno de los 10,5% de CO2) o medir el O2% (en el entorno del 3% de O2), **pero mida que no haya CO** (o un máximo de 400 ppm de CO).

5-Comprobar en chimenea que no hay pérdidas por gases no quemados. La presencia de gases no quemados es muy común en la combustión de leña y gases, esta se debe a problemas en la combustión o a la falta de aire. En estos casos, sólo la medición permite detectarlo. Esta pérdida puede ser muy importante. (en leña hasta del 5-7% por cada 1% de CO en gases de chimenea).

6-Mejore la condición de los combustibles. Especialmente en leña, trate de quemar la leña con un bajo contenido de humedad (22% al 25%), en buenas condiciones de estacionamiento (no demasiada estacionada, con putrefacción, etc.).Vale la pena arreglar la "cancha" de estacionamiento.

7-Sellado de todos los aires que puedan introducirse en la caldera que no entren en la combustión. Con una vela o un mechero (candil) de kerosene o gasoil, revisar todas las juntas de tapas en la cajas de humos o mampostería para buscar las entradas de aire (la llama de la vela es succionada hacia la pérdida), calafateando dicha entrada con lana de roca u otros (el amianto es cuestionado por cancerígeno). Estos aires se calientan y se llevan el calor por la chimenea, aparecen en el exceso de aire.

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

8-Regule la depresión de aire en el hogar al menor valor posible (en calderas con hogar a depresión). Ponga un tubo U con agua para medir la depresión (de vidrio, plástico, etc. conectado la cámara del hogar). Cuanto mayor sea la depresión, mayores serán las pérdidas por aires que entran fuera de la zona de combustión y por ésta.

9-Mejore la aislación de la caldera y sus accesorios. Casi todo puede ser aislado hasta cierto límite. Hay zonas que no deben ser aislados en demasía, ya que se podría levantar una temperatura muy alta en el interior, pudiéndose quemar por dicha razón: paredes de hogar refractarias, tapas en zonas de gases muy calientes, etc.

10-Controle la cantidad de purga y utilice la purgas continua extrayendo de ésta el calor en un intercambiador. Siempre es necesario un % de purga. La purga de fondo y de niveles son necesarias por seguridad y extracción de barros, su recuperación de calor es dificultosa, pero todo aquella purga de sales disuelta puede ser hecha por la purga continua, extrayendo el calor por medio de un intercambiador (para calentar el agua reposición u otros) en forma muy fácil.

11-Recupere el máximo de condensado de retorno. Es agua pura, lo cual disminuye la necesidad de purgar. Es agua caliente, a la cual hay que agregar menos calor para vaporizar (si es necesario aumente la altura del tanque de alimentación para que la bomba no "patine" -cavitación-).

12-Recupere el vapor de "flash". Cada Kg. de vapor de flash que se recupera es un Kg. de vapor menos a generar por la caldera.

13-Aisle cañerías de vapor, condensado, accesorios y equipos que deban ser calefaccionados. La aislación debe ser adecuada en calidad y en espesor, así como la terminación de la protección de la misma (chapa, fibra, material, etc). Los accesorios: válvulas, reguladores, etc. son lugares de mucha pérdida, se pueden aislar con "mantas" de aislación que son quitadas en las reparaciones o mantenimientos. La aislación más barata no es la más económica.

14-Baje la temperatura en los procesos y los tiempos, todo lo que se pueda. Esto redundará en un menor consumo de vapor.

15-Ponga instrumentos de control : termómetros, manómetros, caudalímetros, etc. Estos permitirán un control visual y se podrán fijar los límites en cada caso.

16-Automatizar en lo posible. La automatización controla más eficazmente estos límites de utilización para el control de la energía, que al teniendo un ajuste adecuado, permite la utilización ajustada de la energía a las necesidades del proceso.

17-Verifique que la trampas de vapor son las adecuadas y funcionan correctamente. Las trampas de vapor deben ser cuidadosamente estudiadas, las más baratas a veces son las más caras en su utilización. Cada trampa tiene un uso más conveniente, pero hoy en día debe ser contemplado el costo por su uso más que por su costo inicial. El mantenimiento de las mismas influyen en el consumo de vapor. Hay trampas que al funcionar consumen energía: son "derrochadoras".

18-Ponga visores de condensado en la trampas. Las trampas deben ser controladas diariamente por medio de visores. En caso de no tener visores instalados, es posible hacer un chequeo con un termómetro de superficie o un probador de trampas (acústico o térmico).

19-Intercambiadores. Estos deben ser adecuados para el uso deseado, ya que un tiempo excesivo en lograr el efecto deseado, la pérdida de condensado, la necesidad de usar presiones más altas, etc. provocan pérdidas de calor y agua. En este caso el sistema más barato puede resultar el más caro.

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

20-La instalación en sí misma. Las cañerías con trazados inadecuados, caídas no contempladas, excesos de platinas, etc. también son causas de pérdidas de calor.

21-Calidad del agua de reposición de caldera. Debemos buscar el agua de menor contenido de sales, ya que esto permite trabajar con menor cantidad purgas (ahorro de calor y agua), menos gastos en el tratamiento (sal en el ablandador, productos químicos internos), menos problemas en el vapor (por descomposición de sales). Las aguas superficiales (en general OSE) son mejores generalmente que las aguas de los pozos (que aparentemente parecen más baratos en su utilización).

22-Recuperadores de calor. La instalación de recuperadores de calor puede ser una manera interesante de ahorro: temperatura en exceso en chimeneas, temperatura de aguas residuales, temperatura en venteos de equipos, extracciones de aires o gases calientes, etc.

23-Forma de operar. Siempre que pueda, trabaje con una caldera en vez de dos, con 2 en vez de 3, etc. Con la caldera que trabaje próximo al 80% de su capacidad, etc.

24-Diseño. Muchos equipos (calderas, intecambiadores, etc.) fueron diseñados con criterios distintos a los actuales (materiales, construcción, costo combustible, etc), que a veces una caldera nueva o equipo nuevo **se amortiza en pocos meses con el ahorro de combustible**.

25-Tenga el instrumental de mano necesario para chequeo. Medidores de gases de combustión, termómetros portátiles para inmersión, superficie, etc., con el entrenamiento de las personas involucradas.

26-Entrenamiento y toma conciencia. Es fundamental la toma de conciencia para lograr el ahorro energético y para esto se debe entrenar a las personas: dándoles el conocimiento necesario y el entrenamiento práctico adecuado. En algunos casos, contratando personas ajenas a la empresa (a veces "nadie es profeta en su tierra") de reconocida solvencia en el tema, que reúna condiciones didácticas y que pueda atraer la atención de la gente.

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

TABLAS, DATOS UTILES y CALCULOS PRACTICOS

TABLA DE VAPOR SATURADO

presión ATA	temperatura Cº	calor total Kcal/Kg.	calor agua Kcal/Kg.	calor vapor Kcal/Kg.	volumen m3/Kg.
0.05	32.55	611.3	32.55	578.9	28.7300
0.20	59.67	623.1	59.61	563.5	7.7930
0.50	80.86	631.6	80.81	550.8	3.3010
1.00	99.09	638.5	99.12	539.4	1.7250
2	119.62	645.8	119.87	525.9	0.9016
3	132.88	650.3	133.40	516.9	0.6166
4	142.92	653.4	143.60	509.8	0.4706
5	151.11	655.8	152.10	503.7	0.3816
6	158.08	657.8	159.30	498.5	0.3213
7	164.17	659.4	165.60	493.8	0.2778
8	169.61	660.8	171.30	489.5	0.2448
9	174.53	662.0	176.40	485.6	0.2189
10	179.04	663.0	181.20	481.8	0.1981
11	183.20	663.9	185.60	478.3	0.1808
15	197.36	666.6	200.60	466.0	0.1343
20	211.38	668.5	215.8	452.7	0.1016

Esta tabla esta dada para la presión absoluta en ATA (atmósferas técnicas absolutas, 1 AT: atmósfera técnica = 1 Kg/cm2) para utilizarla a la presión relativa del manómetro debemos de sumarle la presión de la atmósfera, si la presión en el manómetro (relativa) está dada en Kg/cm2 debemos sumarle 1,033 Kg/cm2 y nos dará la presión en ATA, pero si la presión del manómetro esta dada en Bar (relativa), debemos a la presión del manómetro multiplicarla por 1,019 (1 Bar = 1,019 Kg/cm2 o AT) y al resultado sumarle 1,033 (1 atmósfera= 1,033 AT).

Ejemplo: presión caldera 7 Bar ...7x 1,019 =7,133 AT: atmósferas técnicas relativas
7.133 + 1, 033=8,166 ATA (atmósferas técnicas absolutas)
Leer la tabla en 8 ATA (dará un valor aprox.)

Ejemplo: presión caldera 100 Libras/pulgadas2 relativas.... como una
1AT (atmósfera técnica) =14,22 Lb/Pulg.2
100/14,22=7,03 AT ..... 7,03 +1,033 = 8,063 ATA (atmósferas técnicas absolutas).
En este caso se puede tomar como 8 ATA para buscar en la tabla.

Cual será el calor por Kg. que nos proporcionará el vapor a esta presión (8 ATA) **y su temperatura?**
Es igual a 489 Kcal . por Kg. y su temperatura 169ªC, el condensado saldrá a 169ºC si utilizamos un sistema de trampa de vapor que mantenga drenado los intercambiadores en forma total (trampa de flotador), significa que el condensado reevaporizará al bajar su presión a 1 atmósfera (1,033 Kg./cm2 o ATA) y este calor será igual 171,3 - 100 = 71,3 Kcal /Kg de condensado, calor que se podrá aprovechar instalando un recuperador de "flash".

Conversión de presiones

Las presiones de los manómetros son generalmente relativas, para hallar la presión absoluta, hay que sumar la correspondiente a la atmósfera dada para las mismas unidades en que se esta leyendo el manómetro. A nivel del mar tomamos:
Lectura en Kg/cm2 relativa sumar 1,033 = Kg/cm2 absolutos.
Lectura en Lb/pulg.2 relativa sumar 14.7 = Lb/pulg2 absolutas.
Lectura en Atmósferas técnicas relativas (AT) sumar 1,033 = ATA (atmósferas técnicas absolutas, recordar que 1 AT= 1 Kg/cm2).
Lectura en Bar relativas sumar 1,013 = Bar absolutas.

Conversión de presiones de distintas unidades.

Para convertir	multiplicar	dará en
Kg/cm2	x **14,22**	=.....Lb/pulg.2
Lb /pulg.2.....	x **0,07**	=..... .Kg/cm2
A (atmósferas).....	x **1,033**	=.....Kg/cm2 ...AT (atmósferas técnicas)
Bar	x **1,019**	=.....Kg/cm2

Temperaturas y sus conversiones

La temperatura puede estar dada en grados centígrados (ºC) ó en grados Fahrenheit (ºF), para hacer la conversión de unidades haga las siguientes operaciones .
Grados ºF a grados ºC .....a los ºF réstele 32, a esta diferencia multipliquela por 5 y al resultado divídalo por 9, el resultado serán grados ºC.
O sea lo que Ud. hizo es **Cº= 5/9 x (Fº - 32)**
Grados ºC a grados ºF..... a los ºC multipliquemos por 9 y al resultado dividalo entre 5 , a este resultado súmele 32 y el resultado serán grados ºF.
O se lo que Ud. hizo es **ºF= 9/5 x ºC + 32**

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

Comentario: el 0ºC de los grados ºC corresponde a +32 º F y el 0ºF grado de ºF corresponde a -17,7ºC (menos -17,7 ºC o sea por debajo del cero ºC o punto de fusión del hielo).

Medidas de temperaturas absolutas:

Grados Kelvin ..... ºC + 273 = ºK (temperatura absoluta en ºC)

Medidas

Lineales

1 m. (metro) = 10 dm (decímetro)=100 cm (centímetro)=1000 mm.(milímetro)
1 yarda (yard)= 3 pié (feet) 1 pié (foot)= 12 pulgadas (inch)
1 pulgada (inch) = 0,0254 m.(metros)= 25,4 mm.(milímetros)
1 Pie (foot) = 0,3048 m. (metros) = 30,48 cm (centímetros)

Superficie

1 m2.(metro cuadrado) = 100 dm2 (decímetro cuadrado)=10.000 cm2
Pulgada cuadrada (In2 , Square inch) = 6,4516 cm2 (centimetros cuadrados)
Pie cuadrado(ft2 , Square foot) = 929,03 cm2 (centímetros cuadrados)

Volumen

1 m3 (metro cúbico)= 1000 dm3 (decímetro cúbico) = 1000 Ltr.(litro).
1 m3.= 1.000.000 cm3 (centímetro cúbico)
1 Pulgada cúbica (in3) =16,3871cm3
1 pie cúbico (ft3) = 28,317 dm3
1 galón americano (U.S. gal)= 3,7854 Ltr. (litros)
1 galón imperial (U.K. gal) = 4,5461 Ltr. (litros)
1 barril de petróleo (bbl , U.S. barrell) = 158,987 Ltr.(litros)
1 pinta americana (U.S. pt) = 0,4732 Ltr. (litros)
1 cuarto americano (U.S. qt) = 0,9464 Ltr. (litros)

Masa (peso)

1 tonelada = 1000 Kg (kilogramos)=1000.000 g. (gramos)
1 grano (grain=gr) =0,0 648 g. = 64,799 mg (miligramos)
1 libra (lb , pound) = 7000 grano = 0,453 Kg
1 Kg. (kilogramo) = 2,205 Lb (libras, pound)
1 onza (ounce) = 28,350 g. (gramos)
1 Libra (lb, pound)= 16 oz (onzas) = 453,592 g. (gramos)

Presión

1 Kg/cm2 = 0,98066 Bar =0,96784 Atmósfera =735,514 mm.mercurio
= 10 m. agua = 98066 Pascal (S.I.) = 14,22 Lb/pulg.2
1 Atmósfera normal =1,01325 Bar =760 mm.mercurio = 10,3323 m. agua
= 101.325 Pascal (S.I.) = 14,7 Lb/pulg.2

Potencia

1 Kw (kilovatio) = 1,341 H.P. (Horse power-caballo de fuerza)
1 H.P.(caballo fuerza)= 0,7457 Kw (kilovatio)

Medidas de calor

Los americanos e ingleses utilizan el BTU (British thermal unit) que equivale al calor necesario para subir 1 ºF la temperatura de 1 Libra (Pound) de agua.

Nosotros usamos normalmente la Kcal (Kilo-caloría) que equivale al calor necesario para subir 1ºC la temperatura de 1 Kg.(Kilogramo o litro) de agua.

Como el Kg.= 2, 2046 Libras (Pounds) y ºC=5/9x(ºF-32), podemos establecer las siguientes conversiones.

1 BTU = 0,252 Kcal. y 1 Kcal = 3,968 BTU por lo que para convertir:

BTU en Kcal.....BTU x 0,252 = ...Kcal.
Kcal en BTU.....Kcal x 3,968 =.....BTU

Comentario: También se están usando otras formas de expresión, unidades estas que están referidas a unidades de tiempo, que tienen su equivalencias con estas:

vatio/hora = 3,4129 BTU = 0,860 Kcal ó 1 Kw/h=860 Kcal.
1 vatio (watts)= 1 Joule ó 1 Kw/h = 3,6 M J (mega-Joule, siendo mega=1.000.000)
También se usa la Therm (U.S.A.)....**1 THERM = 100.000 BTU** (25.200 Kcal.)

Medidas de transmisión del calor

Como la transmisión del calor esta referida a una superficie determinada, en un tiempo determinado y la diferencia de temperatura esta establecida en ºF ó ºC., tendremos las siguientes equivalencias.

1 B.T.U./ pie2. h..ºF (1 B.T.U. por pie cuadrado por hora por ºF) = 4,88 Kcal/m2.h.ºC (Kilocaloría por m2 de superficie por hora y por ºC)

1 Kcal/m2.h.ºC (1 Kilocaloría por m2 de superficie por hora y por ºC) = 0,204816 B.T.U./pie2 . h..ºF (B.T.U. por pie cuadrado por hora por ºF)

1 Kcal/m2 h ºC = 1,163 Wh/m2 ºK (Wh=vatio-hora) (ºK=grado Kelvin)

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

Medidas de conducción del calor

La conducción de calor a través de un cuerpo esta referida a una determinada sección, a un determinado largo del pasaje de calor, a un tiempo determinado con un diferencial de temperatura establecido.

1 B.T.U./pie2 . h..ºFx pie (1 B.T.U. cada pie cuadrado , por hora por ºF y por pie) = 1,488 Kcal/m2.h.ºC x m (Kilocaloría cada m2 de superficie , por hora, por ºC y por metro)

1 Kcal/m2.h.ºC x m (1Kilocaloría cada m2 de superficie por hora, por ºC y por metro) = 0,672 B.T.U./pie2 . h..ºFx pie (B.T.U. cada pie cuadrado, por hora, por ºF y por pie)

1 Kcal/ m h ºC = 1,163 Wh/ m ºK (Wh=vatio-hora)

Calor necesarios para calentar 1ºC a 1 Kg. de : (Cp=Kcal/KgºC)

1 Kg. de agua (1 Ltr. a 4ºC).....	1	Kcal./KgºC
1 Kg. hierro o acero	0,11	Kcal./KgºC
1 Kg. de cobre.....	0,094	Kcal/Kg.ºC
1 Kg. aluminio.....	0,216	Kcal/KgºC
1 Kg. F. Oíl.....	0,47	Kcal/KgºC

Esto lo llamamos calor específico de cada sustancia (Cp) a presión constante.

1 Kcal/KgºC = 4,1868 KJ/KgºK (kilo-Joule por Kg. por Cº)

Conducción del calor por los siguientes elementos:

Acero.....	40 a 50	Kcal/ m h ºC
Cobre.....	320	Kcal/ m h ºC
Aluminio.....	180	Kcal/ m h ºC
Vidrio.....	0,18	Kcal/ m h ºC
Lana de vidrio.....	0,03	Kcal/ m h ºC
Lana de amianto.....	0,05	Kcal/ m h ºC
Poliuretano expandido.....	0,035	Kcal/ m h ºC

Vemos que los materiales aislantes conducen menos el calor.

El amianto, algunos tipos ya prohibidos (como el "azul", otros tipos cuestionados) por cancerígenos (sus fibras inhaladas pueden producir varios tipos de cancer).

Transmisión del calor para calefacción :

La transmisión de calor para calefacción estará influida por la características del fluido que suministra el calor y del que lo recibe, ya que el propio fluido forma una película que hace mayor o menor el pasaje de calor (esta película depende de la agitación o velocidad, de la viscosidad, etc.). El material de las "serpentinas" influye en forma relativa, siendo más importante a tener en cuenta a veces la limpieza de las misma (incrustaciones o costras). La llamaremos **U** (Kcal/m2 h ºC)

Serpentinas calefacción **sumergidas en agua** . (valores prácticos)		
Baja presión de vapor, circulación **natural**	488	Kcal/m2 h ºC
Alta presión de vapor, circulación **natural**	976	Kcal/m2 h ºC
Baja presión de vapor, circulación **forzada**.....	976	Kcal/m2 h ºC
Alta presión de vapor, circulación **forzada**.....	1464	Kcal/m2 h ºC
Calefacción de **aceites combustibles** (valores prácticos)		
Circulación **natural**, presión media de vapor		
Aceites livianos	145	Kcal/m2 h ºC
Aceites pesados	70-95	Kcal/m2 h ºC
Grasas.....	24-45	Kcal/m2 h ºC
Circulación **forzada**, presión media de vapor		
Aceites livianos.....	480	Kcal/m2 h ºC
Aceites medios.....	290	Kcal/m2 h ºC
Aceites pesados.....	140	Kcal/m2 h ºC
Melasas.....	70	Kcal/m2 h ºC
Grasas.....	45	Kcal/m2 h ºC

Q= U x A x (Tv - Tl) Q= Kcal necesarias para calefaccionar y es igual a Q=Kg/h x Cp x (T2- T1) es la cantidad por hora de producto a calentar (Kg/h) por la diferencia ºC entre la temperatura que entra (T1) y la que sale (T2) por la cantidad de calor necesaria para calentar 1ºC/Kg o sea Cp) , U = Kcal/m2 h ºC tabla anterior, Tv= ºC vapor (sacar de la tabla con la presión del vapor) Tl = ºC del líquido (es la temperatura del líquido a calentar Tl= (T2+T1)÷2) . A= a la superficie en metros cuadrados (m2) de calefacción.

Si queremos calcular A , superficie de calefacción **A= Q/ [U x (Tv-Tl)]** Estos valores serán aproximados, dependen de la forma relativa de las serpentinas respecto al movimiento del líquido, a la circulación del vapor y drenaje de condensado.

En algunos casos se tomará la media logarítmica al calcular el ΔT (diferencial de temperaturas) en vez de la media matemática de las temperaturas.

Med. matemáticas[(Tv-T1)+(Tv-T2)]÷2= [Tv-(T2+T1)÷2]=ΔT vapor-líquido

Med.logarítmicas[(Tv-T1)-(Tv-T2)]÷{2,3xLog.[(Tv-T1)/(Tv-T2)]}=ΔT media logarítmica.

La diferencia que se establece al utilizar estos ΔT (diferencial de temperatura) en los casos prácticos no es importante. **Ejemplo**: Un líquido (agua , Cp = 1 Kcal/Kg.Cº) entra a 20ºC y es calentado a 80ºC en 1000 Kg/hora y se utiliza vapor a 1 Kg/cm2. (temperatura 120ºC), calcular superficie de calefacción sin agitación (U = 488 Kcal/m2 h ºC) . Calculando : ΔT matemáticas = 70ºC y ΔT logarítmica = 65,5ºC

Como se ve hay una pequeña diferencia entre ambos valores (ΔT) del salto de temperatura entre el vapor y el

agua (en la práctica tomar la diferencial media matemática es suficiente). A= 1000 x 1 x(80-20)÷(488x 70)= 1,8 m2 aprox.

Conversiones química del agua.

La dureza del agua, alcalinidad y otros valores (excepto PH) están referidos normalmente a partes por millón (ppm), esto significa una unidad de algo en un millón de unidades equivalentes .Ejemplo : 1 gramo en un millón de gramos, como un metro cúbico de agua pesa aproximadamente un millón de gramos (depende de las sales que contenga y su temperatura), podríamos decir que 1 ppm es aproximadamente igual a 1 gramo por metro cúbico de agua o 1 milésima de gramo (1 miligramo) en 1 litro de agua que pesa aprox. 1 millón de milésimas de gramo (1 millón de miligramos) o sea que podríamos decir que 1 ppm es igual a 1 miligramo por litro (mg/Ltr.).

La otra base para la conversión es que para comparar las sustancias químicas se toma de base una sustancia química patrón, cuando nos referimos a ppm generalmente la sustancia a la cual nos referimos es al Carbonato de Calcio (CO3Ca), de lo contrario debemos expresar a que sustancia esta referida dicha media . En el caso de los cloruros se prefiere como referencia al ion cloruro (Cl-).

Veamos las equivalencias entre las diferentes formas de expresión:

1 Grano por galón U.S = 17,1 partes por millón (ppm). (1 grano=0,0648 gramo)

1 Grano por galón Imperial= 14,2 partes por millón (ppm)

El galón U.S.(americano) =3,785 Ltrs., galón Imperial (británico)=4,545 Ltrs.. (El galón imperial (británico) se puede expresar como U.K.gal.)

1 ppm = 0,001 gramo/Ltr.=0,0584 Granos/galón U.S.=0,07 Granos/galón Imp.

1 ppm = 0,1 Gº Francés = 0,056 G.º Alemán = 0,07 Gº Inglés (gr/U.K.gal)

Ejemplo : Dureza Total 80 ppm como CO3Ca (carbonato de calcio) ...Que el calcio y el magnesio presente en el agua expresado como CO3Ca equivale a 80 gramos por m3. aproximadamente.

Conductividad en el agua: (estas relaciones están referidas a una celda de electrodos de 1 cm2 a un distancia de 1 cm). En caso que se dé la conductividad en S/m (siemens por metro, una celda de 1 m2 a una distancia entre placas de 1 m.) se debe dividir entre 100 para calcular el equivalente a S/cm (dado que la celda es de 100 cm/100x100 cm2= 1/100 cm, considerando que L en (S/m)= 1/R x m/m2, siendo R la resistencia específica)

Ω=Ohm 1/Ω=mho S=siemens

μ=micra= 0.000.001 m=mili=0,001 M=mega=1.000.000

1 μS/cm = 1/μOhm/cm = 1 μmho/cm

1μS/cm = 0,001 mS/cm = 0,000.001 S/cm = 1 μMho/cm

1 μS/cm = 1/ (M Ω . cm)

Resistividad en el agua:

μ=micro= 0.000.001 Ω=Ohm m=mili=0,001 K=kilo=1.000 M=mega=1.000.000

1 MΩ.cm = 1.000.000 Ω.cm = 1.000 KΩ.cm

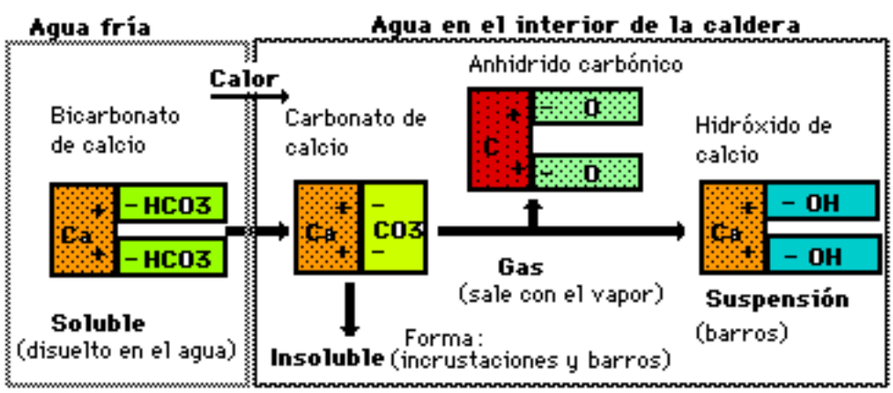
1 MΩ.cm= 1/(μS/cm)=1/(μmho/cm)

Reacciones químicas más comunes en el agua de caldera:

Estas reacciones se provocan al encontrarse sales distintas (o ellas mismas por efecto de otras causas), que reaccionan debido al intercambio de sus (átomos o iones) provocada por establecer un nuevo equilibrio químico (activado por elementos que ayudan a esta reacción, como ser: la temperatura, el PH, catalizadores, etc.).

Los bicarbonatos (de sodio, calcio y magnesio) sales muy solubles y muy comunes en el agua de reposición de calderas, al entrar en la misma: debido a la temperatura alta se transforman en otras sales o gases.

El bicarbonato de calcio al entrar en contacto con el agua caliente de la caldera produce las siguientes reacciones finales:



El carbonato de calcio precipita (es el mármol que vemos en la naturaleza), formando las incrustaciones y barros. El anhídrido carbónico es un gas (es el mismo de la combustión del carbono y el que se usa para extinguir incendios) con el agua fría se disuelve nuevamente y baja el PH del condensado atacando en presencia de oxígeno el hierro de las cañerías. El hidróxido de calcio que se forma en forma de barros, ya que no es muy soluble (es la cal que usamos para blanquear). Con los otros bicarbonatos sucede algo parecido, pero en el caso del bicarbonato de sodio, este forma carbonatos e hidróxidos muy solubles, que normalmente estarán en la caldera disueltos,

formando la "alcalinidad" que precisamos para mantener un PH adecuado en el agua (siempre que no sea en exceso, PH muy elevado o en calderas de muy alta presión que no podremos tener sodio libre).

Las otras reacciones usuales en agua de caldera:
Bicarbonato de magnesio= Carbonato de magnesio+ agua+ anhídrido carbónico
$Mg(HCO3)2 = MgCO3 + H2O + CO2$

Carbonato de magnesio+agua = Hidróxido de magnesio + anhídrido carbónico
$MgCO3 + H2O = Mg(OH)2 + CO2$

Estas sales que contienen Calcio y Magnesio que se descomponen forman la dureza "temporaria" del agua, se llaman así por que se descomponen con la presencia del calor.

Pero también hay sales que forman la "dureza permanente" del agua, que sumada a la "dureza temporaria" forman la "dureza total" del agua, estas sales son :

Sulfato de Calcio ..... $CaSO4$, Sulfato de magnesio ..... $MgSO4$
Cloruro de Calcio ..... $CaCl2$, Cloruros de Magnesio..... $Mg\ Cl2$

Reaccionan con otras sales:

Cloruro de magnesio + agua = Hidróxido de magnesio + ácido clorhídrico
$Mg\ Cl2 + H2O = Mg(OH)2 + 2\ H\ Cl$

Esta reacción es muy corrosiva por el ion cloruro, pero en una caldera correctamente tratada ocurre lo siguiente: Si hay ablandador, intercambia el Mg fuera de la caldera, en caso que esto no suceda reaccionará con la alcalinidad de la caldera debida al sodio:

Cloruro de magnesio+ Hidróxido de sodio=Hidróxido de magnesio+Cloruro de sodio.
$Mg\ Cl2 + 2\ Na\ (OH) = Mg\ (OH)2 + 2\ Cl\ Na$

El cloruro de sodio es una sal muy estable, pero es corrosiva cuando hay altas concentraciones (es la sal de comer), la utilizamos como trazador para controlar las purgas midiendo el ion cloruro (para establecer los ciclos de concentración).

El Sulfato de calcio y magnesio son más incrustantes, ya que su saturación disminuye al aumentar la temperatura, por lo que hay que eliminar la dureza antes que entre a la caldera o formar barros no incrustantes con un tratamiento interno adecuado.

Por ejemplo con fosfatos:

Sulfato de calcio + Fostato trisódico = Fosfato de calcio + Sulfato de sodio
$3\ Ca\ SO4 + 2\ Na3\ PO4 = Ca3\ (PO4)2 + 3\ Na2\ SO4$

Con suficiente alcalinidad libre se forma un fosfato de calcio no incrustante que precipita como barro y una sal de sulfato de sodio que no produce incrustaciones o barros.

Cloruro de calcio + Fosfato trisódico = Fosfato tricálcico + Cloruro de sodio
$3\ Ca\ Cl2 + 2\ Na3\ PO4 = Ca3\ (PO4)2 + 6\ Na\ Cl$

Reacción similar a la anterior.

Hay muchas reacciones más con referencia a las sales que trae el agua y las que ponemos para contrarrestar su efecto. Ahora veremos algo de aquellas reacciones para eliminar el oxígeno del agua. Primero, cuanto más elevada la temperatura de alimentación: menor la cantidad de oxígeno que puede contener el agua, por lo que menos productos químicos deberemos usar. Los productos químicos más comunes son:

Sulfito de sodio + oxígeno = Sulfato de sodio
$2\ Na2\ SO3 + O2 = 2\ Na2\ SO4$

En el caso de usar hidracina:

Hidracina + Oxígeno = agua + Nitrógeno
$N2H4 + O2 = 2\ H2\ O + N2$

Esta reacción no forma sales que se suman al T.S.D. (total de sales disueltas) del agua de caldera, ya que forma nitrógeno (gas inerte), tiene el inconveniente de considerarse un producto de manejo peligroso para la salud (cancerígeno).

PURGAS DE CALDERA

La **purga de niveles** es obligatoria **por razones de seguridad** (cada 4 horas, saca los barros que se puedan haber acumulado en la cámara de la "bocha" y muy poca agua, dado lo corto de la extracción. **Pero lo importante es verificar que se apaga el quemador**, esto afecta en algunas plantas el momento de hacer la purga para no apagar la caldera, en algunas puede ser tan crítico que se hace necesario poner un dispositivo que prueba el control de nivel, pero no permite apagar la caldera si se presiona un botón transitorio eliminador de tal acción de apagado, pero permite la prueba del sistema. Tener mucho cuidado si se intenta implementar un sistema de este tipo, no debe haber posibilidades de que quede eliminado el sistema de apagado del quemador en forma permanente, ni aún por un falla del sistema). Las **purgas de fondo** no siempre se pueden hacer en cualquier momento (**nunca en colectores, gasógenos, etc. con el quemador prendido,** se puede cortar la circulación interna y quemar el colector o gasógeno), en el cuerpo de la caldera, depende de la presión, del

diámetro de la purga, del tipo de caldera, etc. **pero siempre es aconsejable purgar de fondo con el quemador apagado y si es posible el vapor cerrado** (en calderas de baja presión, con toda la presión, purgas cortas, repetidas entre intervalos de tiempo, para dejar acumular los barros sobre la salida de la purga, en alta presión no se debe purgar con toda la presión)**, dado que lo que se busca con la purga de fondo, es sacar barros** (los barros deben asentar) **y sales.** Conviene que la purga de fondo tenga dos válvulas, una de seguridad, contra la caldera y otra de operación de la purga. Abriendo la primera totalmente, purgando suavemente con la segunda, para que caliente las cañerías sin peligro de roturas, hasta abrirla totalmente, cerrando la segunda al terminar la purga y luego cerrando la válvula primera contra la caldera (esta válvula permite reparar la válvula de operación de la purga-que sufre mucho desgaste en el asiento por lo barros- en caso que sufra un deterioro con la caldera en marcha o hasta se pueda "trancar" abierta, además se debe evitar la pérdida, que significa una purga continua no deseada). **Ambas válvulas deben ser de paso casi total** y **adecuadas según las normas para la función** que deben de cumplir (pueden ocurrir graves accidentes al operar las purgas, si las válvulas no son adecuadas, las cañerías correctamente instaladas y afirmadas, así como la operación en forma correcta (calentando el sistema suavemente, abriendo totalmente, pero sin provocar un "shock" o un "golpe de ariete").

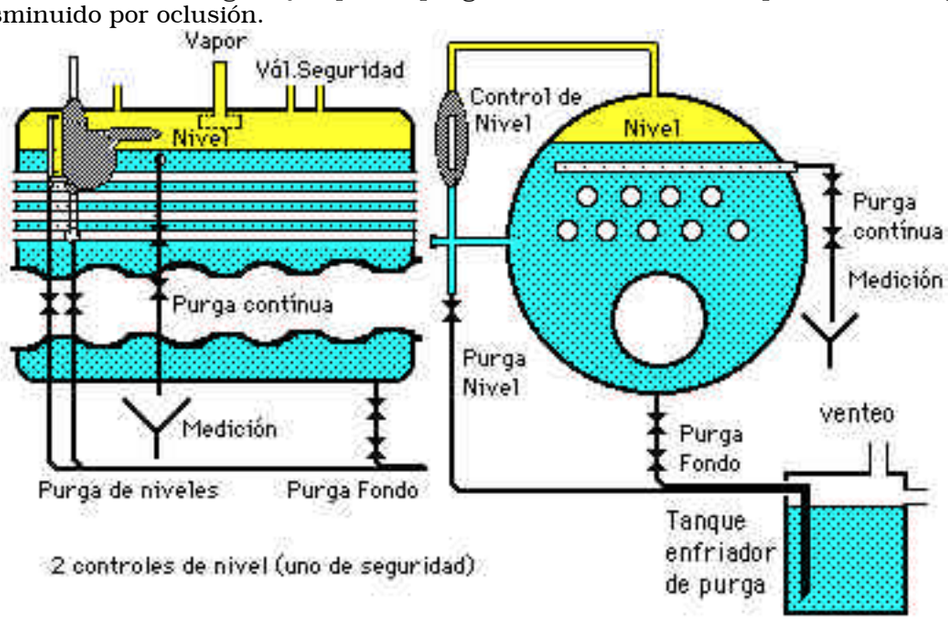
La **purga continua** es la encargada de **sacar las sales disueltas** (presenta la ventaja que se puede purgar permanentemente, no afecta la producción, se regula muy fácilmente, etc). Es conveniente que **la purga continua tenga su descarga independiente** (se puede recuperar el calor en un intercambiador), **de manera de poder tener un control visual y además la posibilidad de medir volumetricamente el volumen de agua que se "tira" por minuto.**

Pero es muy importante el cálculo del % de purga, ya que esto permite establecer los litros por minuto de la purga continua (descontando el % que se "tira" por las purgas de nivel-aproximado a 20-40 L por cada nivel- y las purgas de fondo, que varía, pero que se puede establecer que por lo general no pasa de 80-150 L por purga normal de fondo, valor este que se puede calcular, calculando el espejo de agua en dm2 y multiplicando por la bajada de nivel en dm terminada la purga, si la bomba de alimentación no ha prendido, **ejemplo**: una caldera de 2000 Kg/h de vapor humo-tubular con un espejo de agua de 25dm.x12dm.= 300 dm2, el nivel baja 0,2 dm, o sea 2 cm, por lo que el agua "purgada" es 300 dm2 x 0,2 dm= 60 L por purga, como se ve no es tanta el agua que se desaloja).

Conviene que **la purga continua tenga dos válvulas**, **una contra la caldera**, para apertura y cierre total (comienzo y fin de jornada) y **otra válvula** (más exterior) **para regular el caudal de agua a purgar** (conviniendo que esta válvula tenga una asiento apropiado, duro, como ser de cromo-niquel, con un cierre tipo "aguja" o similar, que regule un pequeño caudal, que por lo general varía entre 0,3 L/m a 30 L/m).

La purga continua se deberá regular de acuerdo a las lecturas del PH, T.S.D. u otro límite máximo establecido. Veamos el cálculo en distintas circunstancias.

Cuando se hay un exceso de purga indeseable e incontrolable, se debe buscar la falla a pérdidas de agua por las válvulas de purgas (ver si la cañería está caliente, a 1 metro aprox. de la última válvula, de ser así, es evidente que se está perdiendo agua). **Cuando hay falta de purga, es evidente que por alguna razón se está reponiendo más agua con sales de lo normal** (aquí el problema se puede deber a : pérdida de condensado que se recuperaba, a un cambio de la calidad del agua, como ser la introducción de agua de pozo en lugar de agua de superficie, generalmente OSE, etc.), **pero también puede ser que por alguna razón la caudal de purga de fondo o continua es menor**, que el que se estaba haciendo, debido a una oclusión (en el caso de la purga continua, la medida del volumen del agua por minuto es muy importante, en la válvula de fondo hay que observar lo que baja el nivel visual de agua, ya que la purga hace "mucho ruido" por el "flash", pero su volumen puede haber disminuido por oclusión.



Cálculo del % de purga :

Dado que el agua que se repone en una caldera contiene una cantidad de sales y además se agregan otras (tratamiento químico), es importante establecer un régimen de purgas para sacar el exceso de sales acumulados en el agua de caldera (límite que se fijará por el total de sales de disueltas máximas admisible o por algunos de los factores limitantes: PH, alcalinidades, cloruros, sílice, etc.). Purgando la misma: tanto en purgas de fondos (que

sacan barros y sales disueltas) como en las purgas continuas (que se utilizan para mantener el límite máximo de las sales disueltas).

El % de purga se puede calcular o medir, basandose en el agua de reposición de acuerdo a diferentes maneras :

1- **Considerando los cloruros** (ion cloruro). Como los cloruros en el agua son difícilmente precipitables, midiendo los cloruros en el agua de reposición y en el agua de caldera, podemos establecer:

Cl a.c. (cloruros agua caldera), Cl a.r. (cloruros agua de reposición). Medimos en p.p.m. como ion cloruro (Cl-).

Cl a.c.÷ Cl a.r. = ciclos de concentración

Ciclos de concentración es igual a las veces que hemos concentrado el agua de reposición (Ejemplo: si evaporamos 1 Ltr. de agua hasta medio 1/2 Ltr., todas las sales serán el doble de concentración, es decir si los cloruros eran 20 p.p.m. pasarán a ser 40 p.p.m. En este caso 40÷20=2 C.c. En la caldera la cantidad total de agua es la misma, pero las sales se van concentrando a medida que el agua que entra se evapora.

El **% de purga sobre agua de reposición** será :

(1÷ ciclos de concentración) x 100 = % Purga agua rep.

Ejemplo: agua de caldera con cloruros en Cl a.c. = 200 p.p.m. y el agua de reposición de O.S.E. en Cl a.r.= 20 p.p.m., tendremos 200÷20= 10 ciclos de concentración y el % de purga sobre agua de reposición es (1÷10) x 100= 10 % de purga. Significa que el 10% del agua que debemos reponer es sacada por las purgas o por las pérdidas en las válvulas de purgas (como agua de caldera).

Este método mide la cantidad de purga, pero no lo establece.

2- Si quisiéramos establecer el % de purgas (aprox.) haríamos el siguiente cálculo:

Máxima de total de sales disueltas en la caldera (**Max. T.S.D.**).....ppm.

Total de sales disueltas en el agua de reposición (**Rep. T.S. D**.).....ppm.

Total de tratamiento por M3 de agua de reposición (**grm/m3**) de sales.

ciclos de concentración= Max. T.S.D.÷ (Rep. T.S.D. + grm/m3)

La inversa de los ciclos de concentración por 100 dará el % de purga sobre agua de reposición en forma aproximada (ya que hay sales que tenderán a descomponerse).

Ejemplo: Límite máximo de total de sales disueltas en la caldera de 10 Kg/cm2 de presión : Max.T.S.D. = 3000 ppm, el agua de O.S.E. ablandada igual Rep.T.S.D.=240 ppm, se agregan por cada metro cúbico de agua 150 gramos/m3 de productos químicos (polifosfatos , sulfitos, etc.).

Ciclos de concentración Aprox.= 3000 ÷ (240 +150)= 7,7 ciclos

% de purga = (1÷7,7) x 100 = 13% Aprox.

Significa que debemos de "tirar" por las purgas el 13% aprox. del agua ablandada que reponemos. Es decir que si la caldera consume 2000 Ltrs. hora de agua de O.S.E. ablandada, debemos de purgar 2000 x 13÷100 = 260 Litros por hora.

Como por las purgas de fondo y las purgas de nivel el agua que se "tira" es relativamente poca , debemos de utilizar la purga continua, porque :

1 purga de fondo "tira" unos 50 a 100 Ltrs. por vez

1 purga de nivel (2 niveles) 20 a 40 Ltrs. por vez

Si la caldera es purgada 3 veces por turno (8 horas), significa tomando los valores más altos (100 + 40) x 3 = 420 Ltrs. pero como debemos de purgar por turno: 260 Ltrs/hora x 8 = 2080 Ltrs.

Estableciendo la diferencia 2080-420=1660 Ltrs. que faltan purgar.

O hacemos muchas purgas de fondos (que no es práctico y el calor no se puede recuperar) o establecemos una purga continua (de superficie) , que "tirará" por minuto: 1660 /(8 x 60) = 3,4 Ltrs./ minuto . (lo podemos medir con una jarra si recuperamos el calor, después de enfriar no habrá vapor de flash).

Cálculo del consumo de agua de alimentación :

1 er. caso, sin condensado de retorno.

Dado una caldera a F.Oíl pesado que consume por día 500 Ltrs. de F.Oíl en 10 horas de trabajo. La presión es de 10 Kg./cm2 de vapor saturado y el agua de alimentación a 20ºC es sin retorno de condensado (O.S.E. Montevideo, ablandada, con 240 ppm como T.S.D. y con un tratamiento de 150 grm/m3, ejemplo anterior).

La caldera funciona al 50% de su capacidad nominal, se estima que su Eficiencia al P.C.I. sin purga (retorno condensado 100%, no real) sea de **82%** y luego con purga y sin nada de condensado de retorno del **79%**. Calculemos, sacando los valores de las tablas anteriores en forma aprox.:

1-Sin purga (100% de condensado de retorno, un caso ideal)

Calor para vaporizar 1 Kg. de agua (664 - 20) = 644 Kcal./Kg. vapor.

Calor aprovechable por Kg. de F.Oíl 9700 x **82** ÷ 100= 7.954 Kcal./Kg.

Kg. de vapor por Kg. de F.Oíl sin purgas 7.954÷ 644=12.35 Kg/Kg.

Siempre se debe de purgar por "seguridad" (niveles, fondo, etc.).

Como el F.Oíl pesa menos que el agua, 1 Ltr. de F.Oíl lo consideramos 0,960 Kg.

Por lo que 500 Ltrs. de F.Oíl serán 500 x 0,960 = 480 Kg. en 10 horas

Kg. de vapor por hora 480 x 12,35 ÷ 10 = 593 Kg. /h de vapor.

Sin purga, deberíamos alimentar 593 Ltrs. de agua reposición por hora.

2-Sin condensado de retorno (un caso real):

La purga será : C.c. =3000 ÷ (240+150) = 7,7 Ciclos lo cual dará un % de purga del orden de = (1÷7,7) x 100 = 13% Aprox. Esto significa que debemos de purgar unos 1 x 13 ÷100 = 0 , 130 Ltrs. por cada Ltr. de agua alimentación aprox..

Para calcular el agua evaporada usamos=(9700 x **79**)÷(644x100)=11,9 Kg./Kg de F.Oíl.

El Agua de alimentación(Agua Alim.)=vapor+purgas= vapor+ Agua Alim.x 1÷C.c.

Agua de alimentación (Agua Alim.)= vapor÷(1-1/C.c.)=13.67 Ltrs. por Kg. de F. Oíl.

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

Como tiramos agua caliente a la temperatura del vapor, este calor debemos de restarlo del suministrado por el combustible: 0,130 x (185-20) x 13.67 =293 Kcal/Kg. F.Oíl. Recalculando la cantidad de combustible perdido por purga necesaria al no tener condensado: 480 x 293 ÷ 9700 ÷**79** x 100 = 18.35 Kg.F.Oíl desperdiciado por purgas en 500 Ltrs. de F.Oíl utilizado.

Kg. de vapor por hora (promedio) :11.9kg x 480Kg ÷ 10h = 571,2 Kg.vapor hora .

A medida que aumenta el retorno de condensado, disminuye la reposición de agua y aumenta la producción de vapor por Kg. de combustible. La alimentación por hora **sin retorno de condensado** será 13.67x480÷10= 656 Ltrs. de agua por hora (aprox.).

El total de agua a purgar s/c en 10 horas será (13,67-11,9)x480= **849,6 Ltrs.**

Cuando hay % de condensado de retorno: Agua Alimen.=Vaporx % Cond + Reposición

Agua Alimentación= Vapor x % Condensado ÷ 100 x [1 +1÷(1-1÷ C.c.)]

50% de condensado,con valores anteriores de sales y la eficiencia **79.5**% P.C.I

Agua evaporada = 9700 x 79,5 ÷ 644 ÷100 = 11,97 Kg/Kg. de F.Oíl

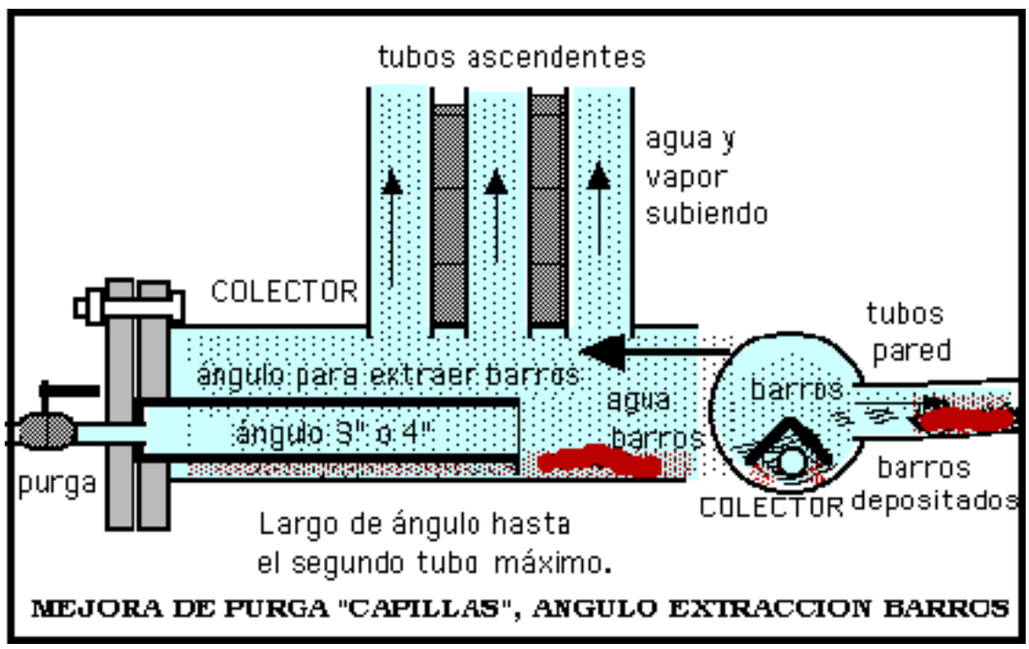
Agua de Aliment. = 11,97 x 50 ÷ 100 x [1 + 1 ÷ (1 - 1÷7,7)]= 12,86 Ltrs./Kg.F.Oíl

Total de agua a purgar en 10 horas (12,86-11,97) x 480 = **427,2 Ltrs**.

Como se nota: a mayor recuperación de condensado menor purga, mayor rendimiento.

PURGAS DE “CAPILLAS”

Las “capillas”, tanto los hogares acuo-tubulares de combustión en calderas de “quema directa”, como las “capillas traseras” acuo-tubulares de los “fondos semi-húmedos”, cuando no se tiene un tratamiento químico “externo” que ablande el agua (ablandador de agua, ósmosis inverso o ablandamiento por precipitación química), o sea que elimine las sales de calcio y magnesio o las transforme en sales de sodio, los tratamientos químicos “internos” lo que hacen es provocar la precipitación de las sales incrustantes como “barros extraibles” por las purgas.



Cuando se forma barro en el interior de la caldera, las purgas de fondo y de los colectores, deben ser capaces de extraer estos barros, por lo que hay que instalar purgas en los lugares “estratégicos”, tanto en los fondos de las envueltas como en los colectores. Cuando hay “capillas”, si estas no tienen purga, los barros se estacionan en los tubos laterales y en lo propios colectores, aún con purgas, si estas no son de suficiente diámetro y no tienen un **ángulos** (de 3” a 4”, punteado sobre la brida, dejando una luz de 10 mm. de la parte inferior del colector) que provoca una “succión” de la parte inferior del colector (por lo general este modelo de calderas no traen este ángulo, pero es conveniente ponerlo, lo mismo si se dá el caso que tampoco no tengan purgas). Las purgas de los colectores **siempre hay que hacerlas con la combustión al mínimo o apagada** (purgar una vez por turno si hay formación de barros).

Nombres de asociaciones que están involucradas en las normas de construcción y funcionamiento de calderas.

En nuestro país existen normas y regulaciones establecidas por el Ministerio de Industria y Energía, por el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social, por el Banco de Seguros del Estado, por algunas Intendencias Departamentales, por Bomberos, UTE, normas UNIT: Instituto Uruguayo de normas técnicas, LATU (Laboratorio tecnológico del Uruguay) , etc.. Estas normas y regulaciones no abarcan el total de las necesarias para la fabricación de las calderas con referencias al material, condiciones de construcción, tratamientos y controles de

calidad, por lo que cuando pedimos la construcción o reparación de una caldera debemos de solicitar respecto a que normas (y organizaciones) responden los items antes mencionado .

Dichas asociaciones o nombres de normas son :

Americanos:

ASME -American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos) **ASME , Boiler and Pressure Vessel Commitee** (Sección de la sociedad anterior que se ocupa de las calderas y recipientes a presión).

ABMA-American Boiler Manufacturaters Associations. (Sociedad Americana de fabricantes de calderas). Que aceptan las normas de la sociedad anterior.

ASTM-American Society for Testing Materials (Sociedad Americana para la prueba de materiales).

SBI- Steel Boiler Institute (Instituto de calderas de acero).

NEMA-National Electrical Manufacturates Association. **AWS**- American Welding Society, Inc.,**ASHRAE** - American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **ASA**-American Standards Association , etc..

Normas Argentinas : **IRAM**.

Europeos:

NBN- Normas Belgas. **VDTUV**- Normas Alemanas. **BRITISH**- Normas Inglesas. **ABG-28**- Normas Dinamarquesas. **CECT**- Recomendaciones Europeas.

Otras normas que podrán ser tenidas en cuenta:

DIN-Deustche Industrie Normen (Normas Alemana para la industria) . etc.

ISO- International Organization for Standardization(Organización internacional para uniformizar los sistemas).

B.S.- British Standards (normas inglesas). **SAE** - Society of Automotive Engineers , **AISI**-American Iron And Steel Association ,**AWWA**-American Water Works Association. **NEWWA**-New England Water Works Association , etc..

Consideraciones para comprar una caldera:

Debemos de tener en cuenta :

1-El **combustible** (o los combustibles y su calidad en las peores condiciones).

No todos los tipos de calderas pueden quemar cualquier tipo de combustible.

Podemos establecer que si las calderas son especialmente diseñadas para sus respectivos combustibles, las siguientes **relaciones aprox.**:

1 L. de F. Oíl pesado equivale a.....**3,0-3,5 Kg. leña con 25% H.b.h.**
1 L. de F. Oíl pesado equivale a.....**1,05-1,15 m3. de gas natural** (Paysandú).
1 L. de F. Oíl pesado equivale a.....**3,3-3,6 Kg. cáscara arroz 10% H.b.h.**

Estos valores están afectados si las calderas tienen recuperadores de calor, que no siempre es posible (por problemas de corrosión). Cuando **la caldera se pretenda para quemar gas natural**, se debe de considerar si el diseño es adecuado para la quema de gas natural, de lo contrario se corre el riesgo de aflojamiento de tubos y fisuras, en la placa más caliente, dado que el gas tiene una temperatura más elevada al final del hogar debido a la forma de transmitir el calor diferente a los combustibles líquidos (estos últimos tienen una llama más radiante, más sobre el quemador, por lo cual enfrían la llama rápidamente en el hogar, antes de llegar a la placa más caliente). **Además, cuando se quema gas natural, un combustible muy difícil de almacenar y que puede estar sujeto a cortes en el suministro, es conveniente disponer alternativas de combustible** (como ser: un quemador dual, que pueda quemar combustible líquido o gas natural).

2-La calidad del **agua de reposición y condensados**, la posibilidad de tratamientos (la limpieza química y mecánica).

No todos los tipos y dentro de los tipos, no todos los modelos tienen acceso mecánico para limpieza, habiendo tipo de calderas que no toleran contaminaciones del proceso (aceites, grasas, etc.) otras no toleran barros o son sensibles a cualquier clase de incrustaciones, otras son arrastradoras , etc..

3-La **presión de trabajo** normal y sus limitaciones (respuesta).

Hay calderas que son lentas a las respuestas de los cambios de presión, afectando con esta características el desempeño o calidad del vapor.

4-**Temperatura** (vapor saturado o sobrecalentado) y **calidad del vapor** ("cualidad", "título" o humedad y pureza).

De acuerdo a su utilización, la temperatura y calidad del vapor es clave, pudiendo una caldera no funcionar correctamente para la alimentación de vapor a una turbina (arrastres y sobrecalentamiento necesario), o como para que la pureza deseada del vapor pueda afectar el proceso (teñidos, procesos alimenticios, etc.).

5-**Capacidad de vapor horaria** (Kg/hora) y su **posibilidad de sobrecarga** (%).

Esta capacidad la debemos calcular a partir de las necesidades máxima de vapor de la planta, considerando un % de "pico" o sobrecarga en la puesta en marcha de la planta o en la previsión del aumento del consumo de vapor en el futuro.

Para expresar la capacidad de la caldera debemos de ser cuidadosos, ya que la capacidad varía de acuerdo a la presión del vapor y a la temperatura del agua de alimentación. Una forma de expresión para evitar esta confusión, es expresar la capacidad de vapor en Kgs. hora de vapor de 100ºC a 100ºC (equivalente de evaporación) o de lo contrario expresar los parámetros anteriores de presión, temperatura del vapor, "cualidad" del vapor y temperatura de alimentación (ambas formas son intercambiables). **Debemos considerar que lo conveniente de la capacidad**

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

al cual va ser usada la caldera sea el el punto no solamente de mayor eficiencia, sino que la calidad del vapor sea adecuada (generalmente en el orden del 70% es el ideal, ya que cuando la caldera pasa a funcionar por encima del 70% aparecen los problemas de la calidad del vapor : arrastres y espumas, relacionados a los límites químicos establecidos, ya que la vaporización específica es muy alta en la actualidad, lo que significa un mayor factor de inestabilidad interna).

La capacidad horaria de Kg. de vapor, también la podemos establecer, **en relación al consumo horario de combustible**, por lo cual podemos establecer las siguientes relaciones aprox. para caldera de vapor saturado entre 7 a 10 Kg/cm2 de presión :

1 L. F. Oíl pesado.....**12,5 a 14,5 Kg. de vapor .**
1 Kg. leña 25H.b.h......**3,8 a 4,8 Kg. de vapor .**
1 Kg. de cáscara de arroz 10%H.b.h....**3,6 a 4,2 Kg. de vapor .**
1 m3. gas natural (Pay.) .....**12,5 a 13,5 Kg. de vapor .**

Estos valores están relacionados al diseño de la caldera, el % de marcha, a los recuperadores de calor en chimenea, al exceso de aire, la calidad de combustión, temperatura del agua de alimentacion, vapor saturado, vapor sobrecalentado, aislación, pérdidas y purgas, etc..

6- **Eficiencia Total referida al P.C.I. (%) al 100% de capacidad.**

Nos permite obtener una idea de los Kgs. de vapor por Kg. de combustible para poder comparar distintas ofertas. (Los combustibles y demás parámetros deberán ser iguales para poder hacer la comparación). Aquí estarán indicadas la eficiencia global de la caldera (la Eficiencia de Combustión y Transferencia, la Eficiencia de la Caldera como equipo térmico: aislación solamente, ya que se supone que las purgas estarán cerradas en la prueba y no deberá haber pérdidas de agua o vapor). Esta Eficiencia Total al P.C.I. al 100% de la capacidad, hoy en día anda próximo a los 90% al P.C.I. (ya que la Eficiencia Térmica en general anda en el 97% a 99%, y la Eficiencia de Combustión y Transferencia entre un 88% a 91% al P.C.I, ambas según sea el tipo de caldera relacionada al tipo de combustible y sus recuperadores de calor. Recordar que al 100% de capacidad no es el punto de mayor eficiencia (es próximo al 70% en general). Debemos de decir que cuando nos referimos a la Eficiencia al P.C.I nos dá % más representativo de la caldera y que cuando nos dan la Eficiencia referida al P.C.S. nos da % que refleja más el comportamiento del combustible. Los americanos (USA) usan por lo general la Eficiencia al P.C.S., en Europa (y por lo general Uruguay), se utiliza al Eficiencia al P.C,I, **aquí lo importante es tener mucho cuidado cuando comparamos ofertas con Eficiencias expresadas en diferentes Eficiencias** (por lo general, hay unos puntos de % más bajo en la Eficiencia al P.C.S. que la expresada al P.C.I, cuanto más sea la diferencia del combustible entre el P.C.S. y el P.C.I, esta diferencia será mayor, aunque si bien los % en números son diferentes, indican lo mismo, ya que cada % de expresión de Eficiencia se debe multiplicar por el respectivo P.C. y ambos darán la misma cantidad de calor aprovechado).

7-**Eficiencia (P.C.I.) de combustión en el tiempo.** (períodos de limpieza sin perder la Eficiencia en forma notoria, se nota generalmente por aumento de temperatura en los gases de chimenea, aumentando la pérdida por la misma).

Permite saber de antemano los tiempos de parada para limpieza (tiene un costo) y si el consumo de combustible no aumentará en demasía entre períodos por pérdida de la Eficiencia al ensuciarse la caldera. La temperatura de chimenea es la más afectada con el ensuciamiento de las superficies de transferencia y por lo tanto la Eficiencia de Combustión y Transferencia, bajando el misma entre períodos de limpieza.

8-**Sistema de seguridad** : válvulas de seguridad (aconsejable 2 mínima), controles de nivel (2 mínimo con corte de combustión), grifos de control de nivel, presóstatos, alarmas , tapón fusible (si es reglamentario) , etc..(verificar que las válvulas de seguridad sean realmente de : apertura total, diferencial y que tengan palanca de prueba).

9-**Sistema de purgas** : purgas de nivel (conectadas para apertura total), purgas de fondo (preferible doble válvula con una rápida) y purga **continua** (de superficie).

10-**Entradas de inspección y limpieza**-Entrada de hombre si es necesaria, cabeza y mano (cercanas a las purgas, entradas de alimentación, partes de fondos y parte superior para control de limpiezas químicas y mecánicas).

11- **Bomba de alimentación** con capacidad suficiente para un prolongado tiempo de servicio (presión y capacidad), atendiendo a las condiciones químicas del agua y temperatura (empaquetadura o sello mecánico), servicio discontinuo o servicio permanente (regulación continua), rendimiento (ó consumo de potencia). Sistema alternativo de alimentación: inyectores a vapor o bombas alternativas (calderas a combustión de celulósicos: leñas, cáscaras, etc.)

12-**Control de la combustión**: **sistemas relacionados con su seguridad**, modulación continua (se obtienen los mejores rendimientos), semi-modulado (por saltos) o discontinuas (on-off) cuyo rendimiento es el inferior.

13-**Normas de construcción y pruebas** : ASME, NBN,VDTUV,IRAM,CECT, etc.

14-**Garantía , inspecciones durante y al final de garantía.** Con medida de la Eficiencia, directa e indirecta.

Dentro de los controles de fabricación: es importante informarse que se cumplan con las inspecciones de construcción, especialmente las radiografías de soldaduras de aquellos lugares que indiquen las normas (envueltas y domos, etc), el aliviado de tensiones según normas, que se hace por "recocido" (normalizado) de las partes sometidas a presión (generalmente envueltas con sus placas, hogares y domos, etc.), las pruebas hidráulicas indicadas al efecto, etc.

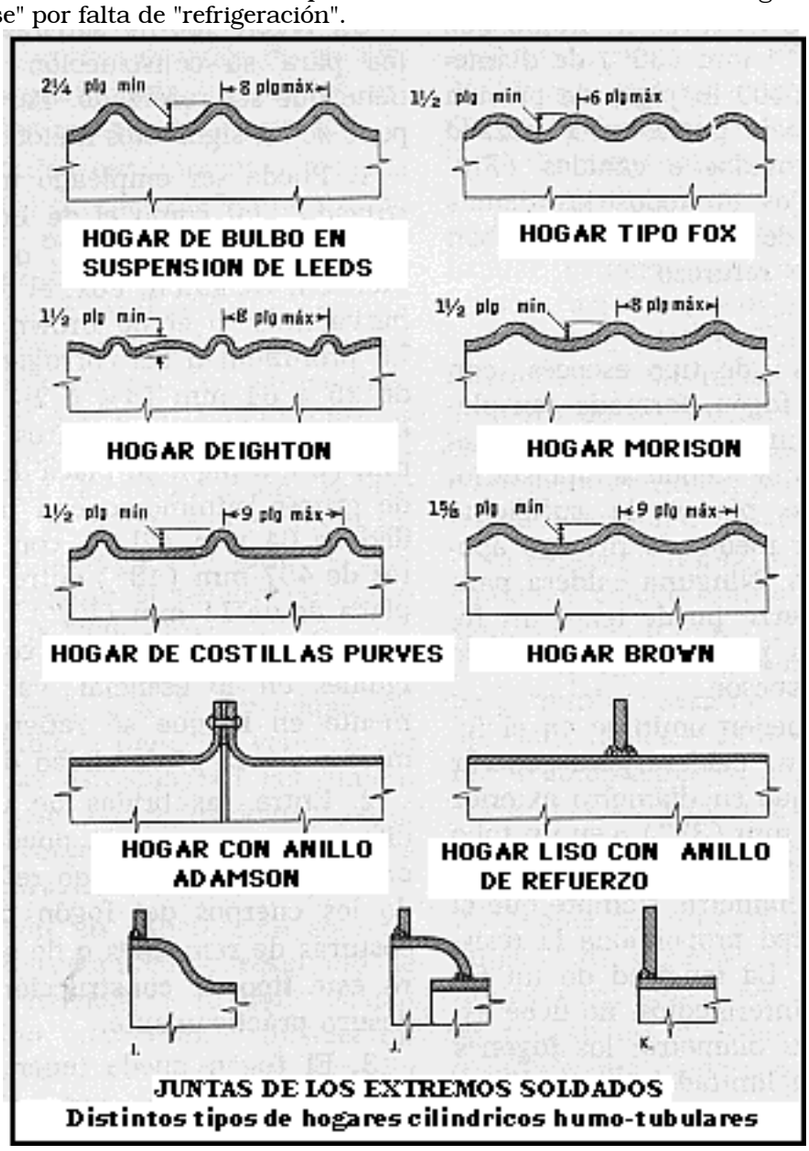
Es aconsejable antes de comprar una caldera: pedir al fabricante los lugares en que se encuentran equipos instalados de similar características, visitar a dichos establecimientos en forma personal, hablar no solo con los encargados, sino con los foguistas a cargo de las calderas (sin la compañía del fabricantes de caldera, que luego se podrá coordinar una nueva visita para la cual estaremos preparados para hacer preguntas).

En la **primer visita es conveniente preguntar**:

Conformidad con la misma. **Repuesta a los cambios de consumos.** Tiempo de calentamiento para su puesta en servicio. **Períodos entre limpiezas y variación de la temperatura de chimenea entre dichos períodos**. **Problemas con la calidad del vapor**. Aflojamientos de tubos. Explosiones de hogar. Repuesta a las distintas calidades de combustible. Facilidad de la limpieza de la parte de humos y de la parte de aguas. Kg. de vapor por Kg. de combustible (si es leña preguntar la humedad). Número de personal para su funcionamiento. Límites en la calidad del combustible (en leña humedad). Límites en la calidad del agua de alimentación (problemas de arrastre o espumas). Zonas de mala circulación de agua (probable depósitos barrosos). Recuperadores (eficiencia y limpieza). Facilidad de manejo. etc.

Una de las limitaciones más importante en las calderas en la parte de combustión es la **cantidad de calorías por m3. máximo** que podemos **liberar en el hogar** (**promedio en Kcal/m3.**), así como **el máximo pico de flujo de calor por superficie** (**Kcal. por m2**). Debemos de tener en cuenta que el fabricante cumpla con esta norma, ya que se encuentra muy ligada la misma a la seguridad de los hogares cilíndricos especialmente. Ejemplo: En calderas humo-tubulares es de **1.250.000 Kcal/m3** para la British Engine Regulations y el límite de pico de flujo por la superficie de la cámara de combustión es de **250.000 Kcal./m2** para la ABG 28, etc.. Este límite afecta hasta el espesor del material del hogar cilíndrico.

En los hogares acuo-tubulares esta expresión afecta a la circulación del agua en los tubos, pudiendo los mismos "quemarse" por falta de "refrigeración".



Distintos tipos de hogares cilindricos humo-tubulares

El hogar cilíndrico de las calderas humo-tubulares podrá ser "**corrugado**" (con formas cilíndricas de distinta dimensión y perfil, lo que hace que el hogar soporte mejor la presión y "absorba" en parte el gran esfuerzo de dilatación provocado por la alta temperatura de la llama en su interior) o "**liso**" (un simple cilindro, que podrá tener soportes cilíndricos, como aros, del lado del agua, es decir refrigerado, los hogares cilíndricos lisos están limitados a calderas de poca capacidad, dado que el problema de la dilatación no está contemplado, aunque en algunos casos se le pone una "arruga" o "junta de dilatación" única para este fin).

El sistema de "corrugado" más común es el sistema FOX (dado que es el más simple de hacer, ya que por lo general, una vez que el hogar se ha cilindrado, con una soldadura longitudinal única, al ser cilindrado de una sola chapa, se somete a una especie de torno con ruedas "repujadoras" con la forma de la "arruga" y sopletes que

someten el material a un calentamiento en la zona a deformar. Otra forma de hacer el hogar " corrugado" es hacerlo en dos mitades con una "prensa", previo calentamiento del material a deformar, soldándose luego las dos mitades.

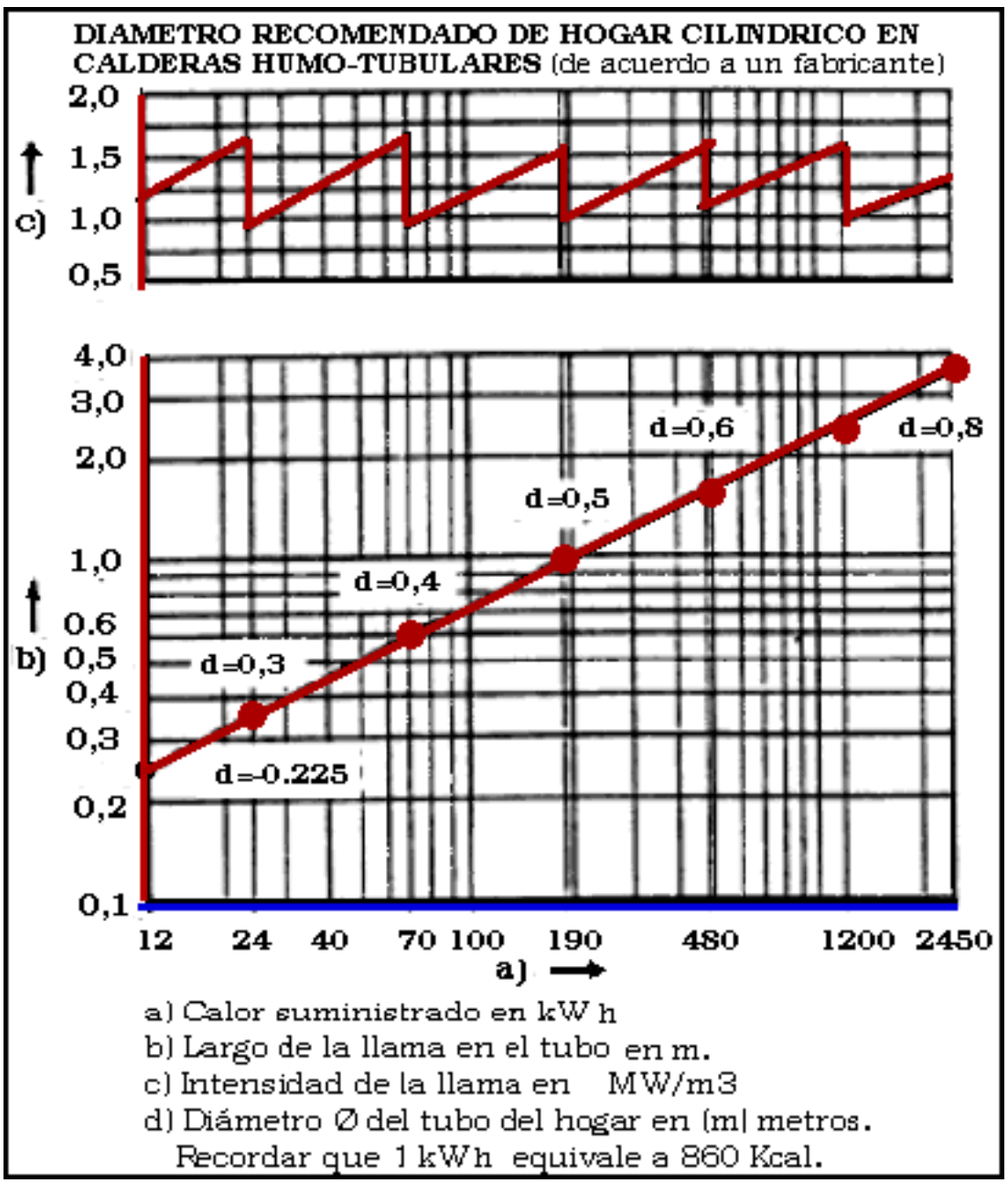
La dilatación de hogar cilíndrico en una caldera humo-tubular, hace que se provoque un esfuerzo entre placas (salvo que el hogar sea "flotante", como el caso de algunas calderas de llama de "retorno"), los tubos que unen las placas y la envuelta soportan este esfuerzo, dado que el calentamiento del hogar en determinados momentos provoca una dilatación mayor que los pases de tubos (por ello hay tubos reforzados , tubos "stays", cuya función es soportar este gran esfuerzo y el de la propia presión de la caldera que ejerce un esfuerzo sobre las placas que son planas y por lo tanto su forma no es la más adecuada para soportar un esfuerzo que puede distorsionarlas). **Los tubos hoy en día van mandrilados y soldados**, antes solamente mandrilados y "recalcados" (es decir, su extremo "aplastado" o "acampanado", por dos razones, para soportar mejor el esfuerzo y para evitar que se "quemen" las "puntas sobresalientes de los tubos" en el primer pase de tubos, en donde la temperatura está en los 900ºC , a la salida del hogar). Los tubos "stays", antes eran de mayor espesor, en algunos casos con "tuercas" de afirmado, hoy por lo general estos tubos son soldados con mayor "agarre" , soldadudura más profunda, que los tubos que solo deben mantener la "estanqueidad" con la soldadura. Cuando una caldera está incrustada, tienen los hogares, placas y tubos, menor enfriamiento, lo que provoca mayores dilataciones que tienden a fisurar las soldaduras de los mandriles, o aflojar los tubos mandrilados, "rajar" los tubos y las placas entre agujeros de tubos, o hasta la fisura de los extremos de hogar o cuando nó, su fatiga y colapso. **Este mismo problema de dilataciones anormales, se produce cuando las calderas son calentadas demasiado "rápido" cuando están frías.**

También sucede lo mismo cuando las condiciones químicas del agua no permiten un enfriamiento correcto de las superficies de transferencia, por alteración de la circulación interna (elevados T.S.D., elevado PH, alcalinidad, etc, o contaminaciones con elementos que alteren la tenso-actividad del agua, todos estos problemas se observan cuando hay "agitación en los niveles visuales" por encima de los normal, siendo generalmente la solución abrir la "purga continua" al máximo hasta que pase esta situación, conviene además bajar la vaporización de la caldera hasta pasar este momento de agitación).

CALDERA CON HOGAR LISO CON JUNTA DILATACION

Pero cualquiera sea el tipo de hogar cilíndrico, hay un diámetro mínimo para cada potencia máxima de combustión de la caldera.

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS



El diámetro del hogar en una caldera humo-tubular, juega un papel muy importante, especialmente en la quema de F. Oíl, dado que la llama necesita un espacio suficiente en el diámetro, de manera que el combustible atomizado no "choque" con la pared relativamente fría de hogar cilíndrico y no permita su correcta combustión (esta situación no se corrige con el ángulo de atomización, ya que para una determinada "potencia" de combustión, es necesario que este diámetro tenga un mínimo).

Otras formas de expresión de la vaporización de una caldera:

Podemos decir que la vaporización de una caldera es de 40 Kgs. /hora de vapor por m2. de superficie de calefacción, es decir que la capacidad de vapor en Kgs. de la caldera esta dada por el expresión de :

Kgs./h/m2 x superficie calefacción = Kgs. de vapor hora (debemos decir que presión, temperaturas del vapor y del agua a utilizar , o los Kgs. de vapor "equivalente" o sea de 100ºC a 100ºC).

En las calderas antiguas este valor estaba en unos 15-20 Kgs./h/m2, estando actualmente en más de 50 -55 Kgs./h/.m2. en calderas humo-tubulares.

Los americanos (U.S.A.) expresan la capacidad de vaporización en "caballo de vapor de caldera" (CV): 1 "caballo de vapor" equivale a 33.475 BTU/hora ó 8.502 Kcal/hora (unas 30 Lb. vapor a 70 lb/pulg.2 manométricas con agua de alimentación a 100ºF , o sea , unos 13,6 Kg. de vapor a 4,9 Kg./cm2 manométricos con agua de alimentación a 37,7ºC).

No deben confundirse esta expresión promedio de Kgs/m2 que se refieren a la superficie total de calefacción con aquellas referidas a los límites máximos admisibles en los hogares que también se refieren a superficies. En la actualidad, es muy común expresar la capacidad de la caldera en Kwh (kilovatios/hora, 1 kwh=860 Kcal), tanto la capacidad de combustión, como la capacidad de producción de vapor. También se utiliza el Joule o mejor el MJ

(mega-Joule, recordando que un mega es 1.000.000 de veces y que el Joule equivale a un vatio o watts, una medida referida al segundo, lo cual si los trasladamos al Kwh, equivale 3,6 MJ, siendo un Kwh igual a 860 Kcal o que 1 MJ= 860/3,6= 238,9 Kcal).

Temperatura aconsejables para los distintos tipos de atomización :

Atomización mecánica.....	aprox.	135º a	145ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox.	115º a	125ºC en F.Oíl Calefacción.
Atomización a vapor	aprox.	95º a	110ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox.	75º a	90ºC en F.Oíl Calefacción.
Atomización con aire	aprox.	110º a	125ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox.	90º a	115ºC en F.Oíl Calefacción.
Atomización por copa	aprox.	90º a	100ºC en F.Oíl Pesado.
	aprox.	60º a	70ºC en F.Oíl Calefacción.

Estos valores varían de acuerdo a las condiciones locales del quemador (tipo de quemador, hogar, operación, etc.).

Valores de viscosidad (aprox.) atomización según tipo de quemador:

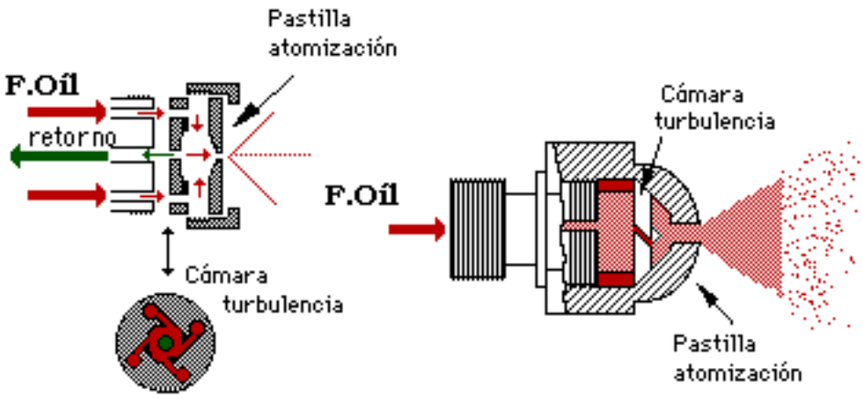
300-150 S.S.U. (segundos Seybolt Universal) quemadores grandes de atomización a vapor.
100-150 S.S.U. quemadores pequeños de atomización a vapor o aire, copas rotativas.
100-70 S.S.U. quemadores grandes de atomización mecánica.
70-36 S.S.U. quemadores medianos y pequeños de atomización mecánica por toberas (preferiblemente H.O-Heavy Oíl). Con toberas comunes se trabaja a muy alta temperatura el F.Oíl y generalmente hay mala atomización.
Hasta 36 S.S.U. Atomización mecánica con toberas comunes (F.Oíl calefacción, Diesel Oíl y Gas Oíl).

Toberas o pastillas de atomización (en atomización mecánica).
Generalmente se expresan sus características de la siguiente forma:
Capacidad..... en las toberas comunes (quemadores de atomización mecánica) se expresa en U.S.G. (Ejemplo: 10 U.S.G.), esto significa la capacidad horaria en Galones americanos (3,78 litros por galón), pero con una presión de 100 libras/pulgadas cuadradas (7 kg/cm2) con F.Oíl N´2 a 60ºF (equivale a Gas Oíl a 15,5ºC). Esta capacidad varía luego de acuerdo a la presión del combustible, la temperatura y el tipo de combustible en el quemador. A lo contrario de lo que se piensa, en los combustible más viscosos, a pesar que el sentido común parece indicar que pasaría con más dificultad (por Kg./hora), la misma tobera con la misma presión pasa más F.Oíl pesado (Kg/h) que F.Oíl calefacción, Diesel Oíl ó Gas-Oíl (Kg/h). En otros quemadores, las toberas (pastillas) y sus cámaras de atomización (turbulencia) son indicadas por un Nº y letras, que cada fabricante indica sus especificaciones.
Las capacidades de las toberas de atomización varían en relación de la raíz cuadrada de las presiones : sí a la presión P1 el quemador tiene un caudal de V1 U.S.G., a la presión P2 será V2 = V1 x Raíz cuadrada de P2/P1.

Tipo de tobera según combustible: hay toberas especiales para combustibles pesados, tienen grabados las letras H.O. (Heavy Oíl = aceite pesado) y un numero, que indica la presión más adecuada para el trabajo de dicha tobera, las toberas comunes no traen dicho numero de presión. Ejemplo H.O. 430 (es una tobera para F.Oíl que debe de operar a 430 libras/pulgada cuadrada o sea 30 Kg/cm2). Los valores normales son H.O. 200 y 430. Esta toberas están hechas con materiales más “duros” para trabajar con combustibles con más “impurezas”. Estas toberas están probadas a la presión marcada (200, 430 etc. lb/#) con un combustible “pesado” a 66-77 S.S.U. de viscosidad , con una gravedad A.P.I. DE 34-36 a 60ºF (15,5ºC). Se prueban para ver su caudal a la presión de trabajo indicada en tablas, aunque el caudal impreso en U.S.G. --- es el nominal probado a 100 libras por pulgada cuadrada (7 Kg/cm2), con viscosidad 34-36 S.S.U. y gravedad A.P.I. entre 32-38 a 60ºF (15,5ºC), correspondiente a un F.Oíl Nº2 (Gas Oíl).

Las pastillas de atomización formadas por **caras planas entre la cámara de turbulencia y pastilla, deben "esmerilarse"** cada tanto (con pasta de esmeril fina y un "mármol" o vidrio grueso plano como alternativa) y asegurarse que **ambas caras tocan sus superficies perfectamente** (probando con azul de Prusia). Si estas caras planas no asentaran correctamente, las pérdidas de combustible fuera de las ranuras en la cámara de turbulencia no permitiría que se produzca la acción de giro en forma correcta, no dejando que la atomización sea adecuada. Además el material de confección de estos elementos deben ser de acero refractarios para que no se deformen con la alta temperatura que la misma soporta (las caras planas tienden a deformarse en alta temperatura, pero vuelven a quedar planas en baja, lo cual "engaña" al operador al probar las mismas con azul de Prusia). Es el croquis de la izquierda del siguiente dibujo (una pastilla de atomización mecánica con control de caudal por retorno del combustible, de manera de mantener la velocidad del combustible en la cámara de torsión, en donde el combustible toma el giro centrifugo que le permitirá salir por el orificio de la pastilla en forma atomizada, pero con trayectoria de cada "gotita" en una dirección recta que solo el aire primario y secundario cambiarán de trayectoria, el caudal varía debido al retorno que baja la presión de atomización pero no la calidad de la atomización, por supuesto hasta un cierto límite).

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

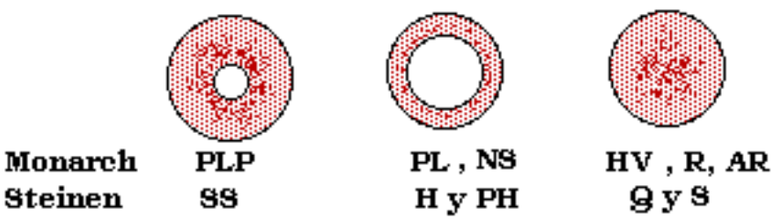


Pastilla y cámara de turbulencia Tobera de quemador más común.

Forma del cono de pulverización: las toberas están ejecutadas para que la forma del cono de atomización sea adecuada al tipo de hogar en que serán utilizados, estas formas podrán ser un simple cono, un cono con más intensidad de combustible en el centro, o un cono con la parte central hueca, otro será en forma de anillo, etc. Sus forma está indicada por letras que cada fabricante adopta según su oferta : por ejemplo : R (cono cargado al centro), NS (cono hueco al centro), AR (cono un poco menos cargado al centro), S (cono muy cargado al centro) H (un anillo parejo), PH (un anillo fino), SS (un anillo grueso), Q (un cono parejo) , etc. todos relacionados al código del fabricante.

El ángulo de atomización es el que forma el cono, un combustible cuanto más pesado, generalmente más ángulo de atomización requiere.

Cuando se pide la tobera se indica : La marca (Steinen , Monarch, etc.)., la capacidad en U.S.G. (número), el tipo de cono de atomización (R u otro) y el ángulo de atomización (las más comunes 45º, 60º, 90º , etc.) y si es H.O. (Heavy Oíl, o sea para combustible pesado) más la presión de trabajo un Nº (420, 300, 200. lb/#).



FORMA DEL CONO DE ATOMIZACIÓN SEGÚN DENOMINACIONES
Presiones de trabajo en quemadores más comunes (con toberas mecánicas)

Con F.Oíl pesado la presión de trabajo en el puntero o tobera deberá ser alta, ya que cuanto más alta la presión en general un combustible pesado atomiza mejor . Si la tobera no especifica una presión de trabajo, la presión normal podrá ser entre 22 kg/cm2 y 30 Kg/cm2, bajando un poco para el F.Oíl calefacción.

Con Diesel Oíl y con Gas Oíl las presiones tienden a ser más bajas , de 7 a 15 Kg/cm2 en general es suficiente. Cuidado con elevar demasiado la presión, el caudal de combustible aumenta y podemos pasarnos de “fuego”.

En quemadores con atomización a vapor o con aire comprimido, la presión del combustible en el puntero es generalmente más baja, podrá ser un máximo de 15 Kg/cm2, siendo normal que ésta varíe entre unos 4 Kg/cm2 y 12 Kg/cm2.

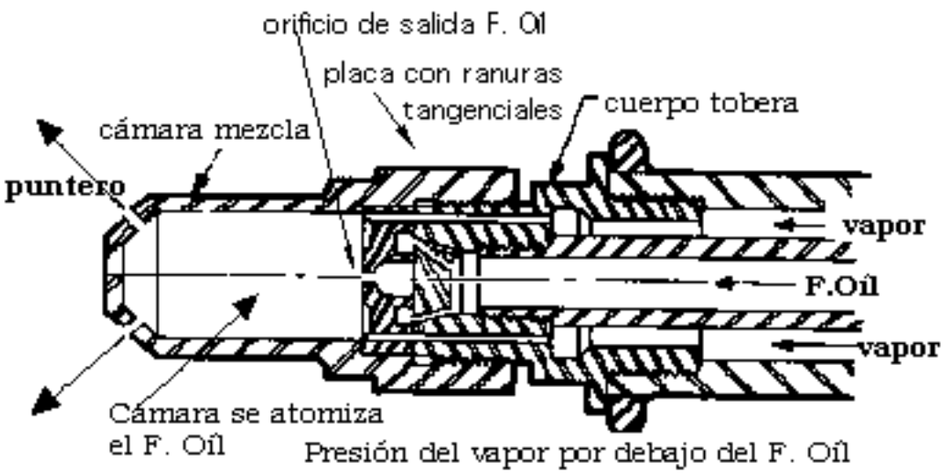
La presión del vapor de atomización depende del tipo de tobera, en algunos es un poco mayor a la presión del combustible y en otros es fija a un de “barrido” que podrá ser por ejemplo : entre 2,5 Kg/cm2 y 3,5 Kg/cm2 (no olvidar que éste vapor debe ser saturado seco, **no debe contener "gotitas" de agua o agua, hay que tener un buen separador de agua antes de la entrada a la reguladora de presión de vapor**).

Una forma de saber si estamos pasados de fuego es medir la temperatura de chimenea, si los gases están más calientes que lo indicado por el fabricante o por el tipo de caldera, estamos pasados de fuego (salvo que la caldera esté sucia de hollín o incrustada, ó un tabique de gases “perforado” en “corto-circuito”).

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

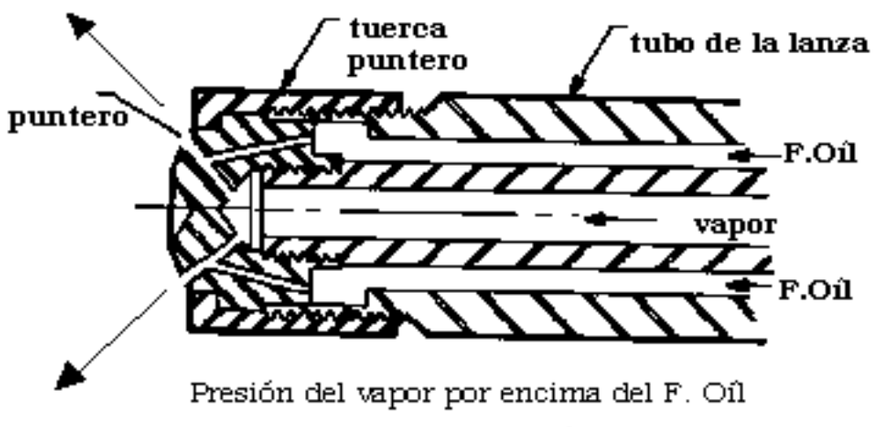
ATOMIZACION A VAPOR, LANZAS MAS COMUNES:

El puntero o lanza LVS de atomización a vapor (eventualmente aire), **la función del vapor es “arrastrar” el F. Oíl atomizado en una cámara** (en la cual se produce una simple atomización mecánica) **de manera que no es necesario que el vapor esté por encima de la presión del F. Oíl** (por lo general la presión del vapor está entre 2 y 3 Kg/cm2). Este tipo de lanza puede trabajar con aire comprimido, como en el caso de la puesta en marcha (aunque por lo general se utiliza una lanza de menor capacidad o una lanza de atomización mecánica).



tobera de vapor LVS

El puntero o lanza de atomización a vapor tipo Y-Jet, el vapor a mayor presión que el F. Oíl, “arrastra” al F. Oíl y lo atomiza directamente en la cámara de combustión. (el vapor por lo general está entre 1,5 a 2 Kg/cm2 por encima de la presión del F. Oíl, variando la presión del F.Oíl entre unos 3 a 12 Kg/cm2). Este sistema no funciona adecuadamente con aire comprimido. Por esta razón en la puesta en marcha con la caldera fría, se utilizará una lanza de atomización mecánica.



tobera de vapor tipo Y-Jet

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

HIDRAULICA

Pérdidas de carga en las tuberías (agua a temperatura ambiente)

Pérdidas de carga en metros de agua para 100 metros de tubería retilínea no incrustada

Caudal lit./min		8	16	33	50	66	83	100	116	133
Caudal en m3/h		0,5	1	2	3	4	5	6	7	8
Diámetros										
1/2”	13 mm	13	9	36	143	-	-	-	-	
3/4“	19 “	19	2,80	11,5	39	-	-	-	-	
1“	25 “	25	2,18	8,30	17,6	29,5	44,5	64	87	114
11/4“	32 “	0,16	0,63	2,40	5,10	8,55	12,9	18,3	23,8	29,8
11/2“	38 “	-	0,27	1	2,15	3,60	5,40	7,70	10	12,5
2“	50 “	-	-	0,22	0,49	1,19	1,76	2,52	3,40	4,27
Caudal en m3/h		10	20	30	40	50	60	70	80	90
Diámetros										
2”	50 mm	6,30	22,3	50	-	-	-	-	-	-
21/2”	70 “	1,23	4,42	9,50	16,1	24,6	34,4	45,3	-	-
3”	80 ”	0,65	2,30	4,93	8,45	12,9	18	23,7	30,3	38,4
4”	100 ”	-	0,75	1,62	2,75	4,20	6,95	7,90	10,1	12,8

Caudal en m3/h		50	100	150	200	250	300	350	400
Diámetros									
6”	150mm	0,57	2,05	4,35	7,48	11,4	16,4	22,4	29,2	37

Pérdidas de carga en los accesorios

espresadas en metros de cañería del mismo diámetro

Diámetros en pulgadas	11/2”	2”	21/2”	3”	4”	5”	6”
Válv. globo	13,1	16,8	21,0	25,6	36,6	42,7	51,8
Válv.completa abierta***	0,15	0,20	0,30	0,35	0,45	0,60	0,80
Válvula de pié	4	5	8	9	12	16	20
Filtro de aspiración	0,35	0,45	0,70	0,80	1	1,30	1,60
Codo a 90º (fig 1)	1,50	2	3	3,50	4,50	6	7,60
Codo a 60º (fig.2)	0,75	1	1,5	1,75	2,25	3	4
Codo a 45º (fig.2)	0,50	0,75	1	1,25	1,50	2	2,50
Unión en T (fig.3)	0,30	0,40	0,60	0,80	1	1,30	1,60
Unión en T (fig.4)	1,50	2	3	3,50	4,50	6	7,50
Unión en T (fig.5)	2	2,50	3,50	4,50	5,50	7	9

*** válvula esclusa o esférica de pase total

Cañerías en ángulos vivos :							
a) aspiración (fig.6)	1	1,50	2,25	2,50	3,50	4,50	5,75
b) impulso (fig.7)	1,25	1,75	2,50	3	4	5	6,50
Dimensión brusca de diámetro (fig.8)							
a) d=0,4 d1	0,50	0,76	1	1,25	1,50	2	2,50
b) d=0,6 di	0,40	0,50	0,76	1	1,25	1,50	2
c) d=p.8 d1	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	1
Aumento brusco de diámetro (fig.8)							
a) d=0,4 d1	1	1,25	1,75	2	2,75	3,50	4,50
b) d=0,6 d1	0,50	0,75	1	1,25	1,50	2	2,50
c) d=0,8 d1	0,20	0,25	0,40	0,50	0,60	0,75	1

Figuras correspondientes a la tabla anterior de accesorios

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

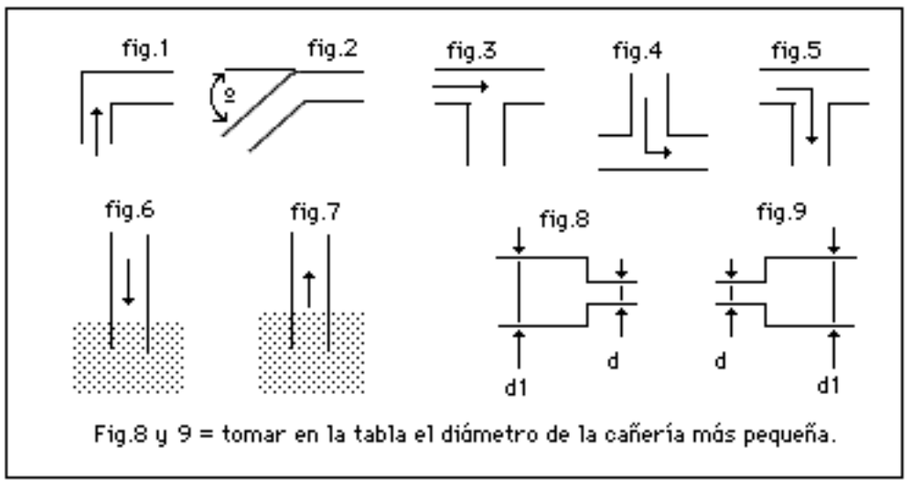


Fig.8 y 9 = tomar en la tabla el diámetro de la cañería más pequeña.

Las tablas anteriores nos permiten calcular aproximadamente la pérdida de carga de una cañería y sus accesorios, por ejemplo : para ello mida los metros de cañería y sumele los metros equivalentes a cada accesorio (según el diámetro de la cañería y los distintos accesorios con sus forma en particular y las válvulas consideradas totalmente abiertas), con este metraje “equivalente” y entrando a las tablas de caudales (litros por minuto o metros cúbicos por hora) y la medida del diámetro nominal de la cañería, estas tablas dan las pérdidas en metros de columna de agua (cada 10 m.c.a. equivalen a 1kg/cm2) podemos sacar la pérdida de carga en 100 metros de cañería a dicho caudal, lo cual la dividimos por 100 y tendremos la pérdida por metro, a este valor lo multiplicamos por los metros “equivalentes” calculados y el resultado nos dará aproximadamente la pérdida de presión en metros de columna de agua (m.c.a.), para una cañería limpia (si la misma estuviera incrustada se debe de considerar un aumento de la pérdida de carga de un valor superior cuanto mayor sea la incrustación).

Observese la gran pérdida de carga de las válvulas de globo (las válvulas de globo son las que cierran como un “pistón” o “plato” sobre un asiento), también en las pérdidas provocadas por succión o descargas con la cañería (fig. 8 y 9) y los los codos a 90º. Por lo cuanto se diseñe un sistema de cañerías, especialmente a la succión de las bombas se deben de tener muy encuenta la instalación de accesorios adecuados, ya que una mala succión hará cavitar o perder succión de la bomba.

Potencia absorvida por una bomba:

P= (H x Q x p)/ (270 x n) en CV ó = (H x Q x p)/ (368 x n) en Kw

H= altura manométrica en metros (m.c.a.)
Q= caudal en metros cúbicos por hora (m3/h)
p= peso específico del líquido en Kg/dm3
n=rendimiento efectivo de la bomba

Recordar que cuando la bombas succionan agua más caliente de lo normal (entre 5ºC y 20ºC, cuya aspiración práctica es entre 7 y 8 m), debido a la presión de vapor del agua, se debe descontar de la altura de la capacidad de aspiración de la bomba los siguientes :

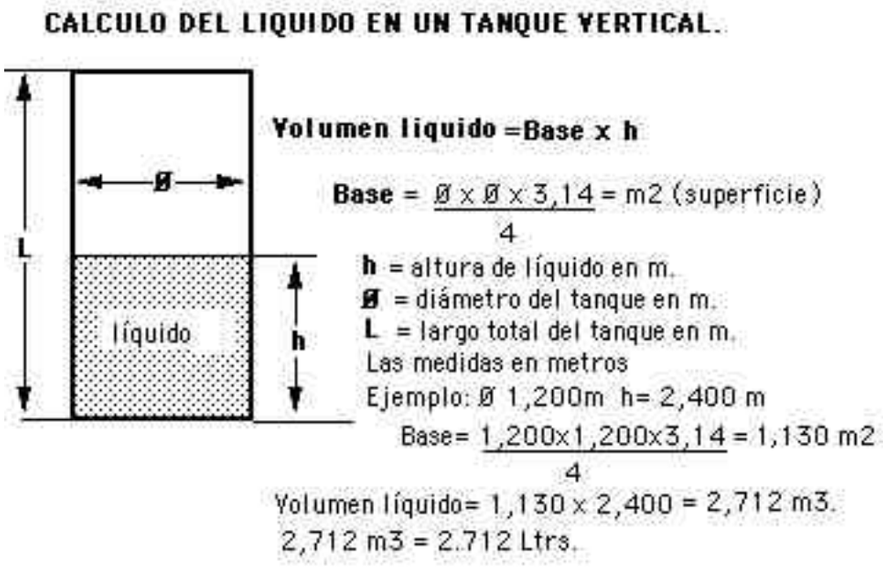
Temperatura (Cº)	30	40	50	60	70	80	90
Deducir (en metros)	0,4	0,7	0,12	1,9	3,1	4,7	7,1

Cuando el agua es para alimentación de calderas y está más de 60ªC conviene que el tanque esté por encima de la bomba, cuanto más caliente más próximo a los **5 m**.

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

CÁLCULOS DE TANQUES CILÍNDRICOS :

Cuando calculamos las Eficiencias, así sea el agua de alimentación, o un tanque de condensado, el de combustible, **necesitamos saber el líquido que queda en el tanque a cierto nivel** (en el caso de los combustibles por lo general hay reglas que se han trazado, midiendo con agua controlada al llenar el tanque por primera vez, pero a veces estas reglas no están correctamente calibradas, por lo que conviene hacer un cálculo). Veremos los tanques cilíndricos: verticales y horizontales.

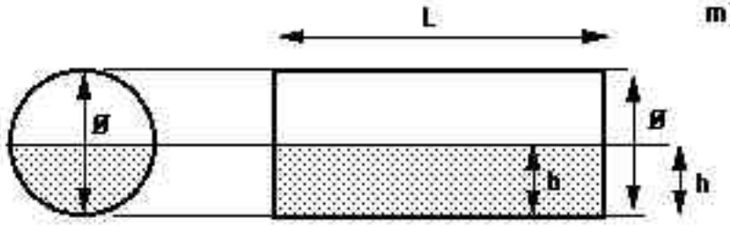

CALCULO DEL LIQUIDO EN UN TANQUE VERTICAL.
Ø
L
líquido
h
Volumen liquido =Base x h
Base = Ø x Ø x 3,14 = m2 (superficie)
4
h = altura de líquido en m.
Ø = diámetro del tanque en m.
L = largo total del tanque en m.
Las medidas en metros
Ejemplo: Ø 1,200m h= 2,400 m
Base= 1,200x1,200x3,14 = 1,130 m2
4
Volumen líquido= 1,130 x 2,400 = 2,712 m3.
2,712 m3 = 2.712 Ltrs.

El cálculo en un tanque cilíndrico horizontal es más complejo matemáticamente, por eso hemos calculado una tabla, que entrando con el **diámetro Ø del tanque en metros** y la **altura del líquido h en metros**, nos dá el líquido en un tanque de **1 metro de largo**, que luego multiplicaremos por los metros **L** del tanque real, **este valor será el líquido que habrá quedado en el tanque.** Cuando se ponga las medidas, se utilizarán los metros y estarán representados hasta las 3 cifras después de la coma (el tercer número indicará la aproximación de los milímetros).

Modulo 12-REPASO RAPIDO Y TABLAS

TABLA PARA CALCULO DEL LIQUIDO EN TANQUES HORIZONTALES

h	Ø 1.100	1.200	1.300	1.400	1.500	1.600	1.700	1.800	1.900 m
0.100	0.043	0.045	0.047	0.049	0.051	0.052	0.054	0.056	0.057
0.200	0.118	0.124	0.130	0.135	0.140	0.145	0.150	0.155	0.159
0.300	0.210	0.221	0.232	0.242	0.252	0.261	0.270	0.279	0.287
0.400	0.312	0.330	0.347	0.363	0.378	0.393	0.407	0.421	0.434
0.500	0.420	0.446	0.470	0.494	0.516	0.537	0.557	0.577	0.596
0.600	0.530	0.565	0.599	0.630	0.660	0.689	0.716	0.743	0.768
0.700	0.638	0.685	0.729	0.770	0.809	0.846	0.881	0.915	0.948
0.800	0.740	0.801	0.857	0.909	0.959	1.005	1.050	1.093	1.134
0.900	0.832	0.910	0.980	1.046	1.107	1.165	1.220	1.272	1.323
1.000	0.907	1.007	1.096	1.176	1.252	1.322	1.389	1.452	1.513
1.100	0.950	1.086	1.198	1.298	1.389	1.474	1.554	1.629	1.701
1.200	.....	1.131	1.280	1.404	1.516	1.618	1.713	1.802	1.887
1.300	.....	.....	1.327	1.491	1.627	1.750	1.862	1.968	2.067
1.400	.....	.....	.....	1.539	1.717	1.866	2.000	2.124	2.239
1.500	.....	.....	.....	.....	1.767	1.958	2.120	2.266	2.401
1.600	.....	.....	.....	.....	.....	2.011	2.216	2.390	2.548
1.700	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.270	2.489	2.676
1.800	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.545	2.778
1.900	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	2.835
m									m3



Volumen del líquido = Valor tabla x L = m3.

Valor tabla = entrar por **Ø** (diámetro del tanque) en m., bajar hasta encontrar la altura del líquido **h**, el cruce dá el valor

h=altura del líquido, Ø diámetro del tanque, **L** largo del tanque.

. OOOOOOOOOOOO .

Este curso se basa en un primer manual :

Pequeño Manual para la Generación y el uso Eficiente del Vapor.

Sugerimos, la complementación con los siguientes manuales del autor:

Pequeño Manual del Foguista. 8a. Ed. 2005
Pequeño Manual de Preguntas y Respuestas para Foguistas.
Pequeño Manual para Operadores de Calderas de Calefacción.
Pequeño Manual del Foguista: Calderas a Leña y Calderas en General. Ed. 2004
Cd "PEQUEÑOS MANUALES PARA CALDERAS" versión 2006.